

Eindrehverhalten von Schraubpfannen

Screw-in Performance of Threaded Cups

Autoren

H. Effenberger¹, O. Bösl², U. Witzel³, B. Linke²

Institute

¹ Orthopädische Universitätsklinik und Poliklinik Friedrichsheim, Frankfurt a. M.

² AO Forschungsinstitut, Davos, Schweiz

³ Institut für Konstruktionstechnik, Fakultät für Maschinenbau, Forschungsgruppe Biomechanik, Bochum

Schlüsselwörter

- Schraubpfannen
- Eindrehverhalten
- Hüftpfannen
- zementfreie Hüftendo-prothetik

Key words

- threaded cups
- screw-in performance
- acetabular cups
- cementless hip arthroplasty

Zusammenfassung



Einleitung: Bei der Schraubpfannenimplantation haben die Gewindegeometrie, Pfannenform und Pfannengröße Einfluss auf das Eindrehverhalten. Da Standardimplantate sich durch mehrere Designparameter unterscheiden, können Vergleichsuntersuchungen keine eindeutigen Ergebnisse über die Wirkung der einzelnen Parameter auf den Eindrehvorgang liefern.

Material und Methode: 15 verschiedene Prototyppfannen mit drei verschiedenen Größen und Formen sowie verschiedenen Gewindetypen wurden verglichen. Alle Untersuchungen wurden mit künstlichem Knochenmaterial durchgeführt. Das Eindrehverhalten wurde durch die Steigung der Drehmomentkurve vor dem Erreichen des Setzpunktes, das Drehmoment am Setzpunkt, die Steigung der Drehmomentkurve nach dem Erreichen des Setzpunktes, den Eindrehwinkel und die Steigungsänderung der Messkurve nach dem Setzpunkt gemessen.

Ergebnisse: Das modifizierte Trapezgewinde hat den niedrigsten Eindrehwiderstand, den markantesten Setzpunkt und die deutlichste Steigungsänderung am Setzpunkt. Das Flachgewinde weist einen niedrigeren Eindrehwiderstand und Setzpunkt sowie größere Anstiege am Setzpunkt als das Spitzgewinde auf. Beim Spitzgewinde ist der Drehmomentanstieg vor dem Setzpunkt bzw. an diesem größer im Vergleich zu allen anderen Gewindedesigns. Größere Pfannen weisen einen höheren Eindrehwiderstand auf.

Schlussfolgerung: Das Eindrehverhalten bei Schraubpfannen wird entscheidend vom Gewindedesign bestimmt. Das modifizierte Trapezgewinde ist am leichtesten einzudrehen; die manuelle Kontrolle ist am besten und reduziert das Risiko des intraoperativen Überdrehens. Das Flachgewinde weist ebenfalls einen niedrigen Eindrehwiderstand auf. Demgegenüber ist das Spitzgewinde am wenigsten kontrollierbar einzudrehen.

Abstract



Introduction: For threaded cups, cup diameter, the shape of the threads and the shape of the cup have a major influence on the screw-in performance. The designs of standard implants vary greatly, making it difficult to carry out comparative studies to provide clear-cut results on the effect of individual parameters on the insertion process.

Material and Methods: 15 different prototype cups were manufactured for this study. Three sizes, three shapes and five thread designs were tested using artificial bone. Screw-in performance was measured with the slope of insertion torque before and after reaching the seating point, the torque at the seating point, the insertion angle and the change of slopes at the seating point.

Results: Modified trapezoid threads have the lowest insertion resistance and the clearest seating point as well as the most distinct change of slope at the seating point. Flat threads show lower insertion resistance and more increased slopes at the seating point than sharp threads. The slope of insertion torque before and at the seating point is higher for sharp threads in comparison to the other threads, the change of slope is however low. Larger cups show a higher insertion resistance.

Conclusion: Screw-in performance is decisively influenced by the design of the threads. Modified trapezoid threads are the easiest to insert with excellent manual control, thus reducing the risk of intra-operative overturning. Flat threads also have a low screw-in resistance. Sharp threads have an unsatisfactory screw-in performance because the seating point cannot be “felt”.

Bibliografie

DOI 10.1055/s-2007-965799
Z Orthop Unfall 2008; 146:
185 – 193 © Georg Thieme
Verlag KG Stuttgart · New York ·
ISSN 1864-6697

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Harald Effenberger, MBA
Orthopädische Universitätsklinik und Poliklinik Friedrichsheim
Marienburgstraße 2
60528 Frankfurt a. M.
Tel.: 069/67 05-4 16
Fax: 069/67 05-4 18
effenberger@
implantat-atlas.com

Einleitung

Die Gewindegeometrie ist der wesentliche Faktor für das Eindrehverhalten von Schraubpfannen. Diesbezügliche Untersuchungen werden gewöhnlich mit Standardimplantaten durchgeführt und liefern wichtige Informationen hinsichtlich des direkten Vergleichs der Implantate [1]. Da sich diese nicht nur durch einen einzigen Designparameter unterscheiden, können die Untersuchungen keine eindeutigen Hinweise über die Wirkung von bestimmten Parametern auf den Eindrehvorgang liefern.

Das Ziel dieser Studie war es, eindeutige Informationen über die Wirkung von Gewindegeometrie, Pfannenform und Pfannengröße auf charakteristische biomechanische Parameter des Eindrehvorgangs zu erhalten.

Material und Methoden

15 verschiedene Prototyppfannen mit 3 verschiedenen Größen (45 mm, 53 mm und 67 mm), 3 verschiedenen Formen (konisch [KO], parabol [PA], sphärisch [SH]) und 5 verschiedenen Gewindedesigns (modifiziertes Trapezgewinde [mTR], Trapezgewinde [TR], Sägewinde [SA], Flachgewinde [FL], Spitzgewinde [SP], **Tab. 1**, **Abb. 1**) wurden von den Firmen Stemcup AG, Zürich, Schweiz und Swiss Quality, Steinhausen, Schweiz, angefertigt. Um eine standardisierte Oberfläche zu erhalten, wurden alle aus Reintitan hergestellten Implantate korundgestrahlt (Ra 6–8 μm). FL- und SP-Gewinde wurden bei allen Formen und bei den Größen 53, mTR-, TR- und SA-Gewinde bei allen 3 Größen

Tab. 1 Prototypen

Pfannenform	Pfannengröße (mm)	Gewinde				
		mTR	TR	SA	FL	SP
KO	53				×	×
PA	45	×	×	×		
PA	53	×	×	×	×	×
PA	67	×	×	×		
SH	53				×	×

mit parabolischer Form kombiniert. Ein wesentlicher Teil der Arbeit umfasste die Prototypen mit konischer, parabolischer und sphärischer Form und einheitlicher Größe (53 mm) mit Flach- und Spitzgewinden. Die parabolische Pfannenform wurde gewählt, da konisch modifizierte Implantatformen (bikonisch, parabol) die am häufigsten eingesetzten Pfannenformen sind. Die parabolische Pfannengruppe wurde um die kleinste (45 mm) und größte (67 mm) Implantatgröße ergänzt. Bei diesen Pfannengrößen wurde auch das Trapez- und Sägewinde geprüft. Zusätzlich wurde auch eine neu entwickelte Gewindeform [mTr] untersucht.

Mit diesen Prototypen wurden 10 separate Tests bezüglich der einzelnen Einflussparameter durchgeführt (**Tab. 2**). Alle Versuche wurden in künstlichem Knochenmaterial (Polyurethan-Blöcken) vorgenommen. Für die Studie wurde das Schaummaterial FR-6718 von General Plastics Manufacturing Company, Tacoma, WA, USA, verwendet (GP 18). Die Schaumstoffplatten (2000 × 2000 × 48 mm) wurden in Blöcke mit den Maßen 100 × 100 × 48 mm ($\pm 0,05$ mm) geschnitten und pro Prototyppfanne

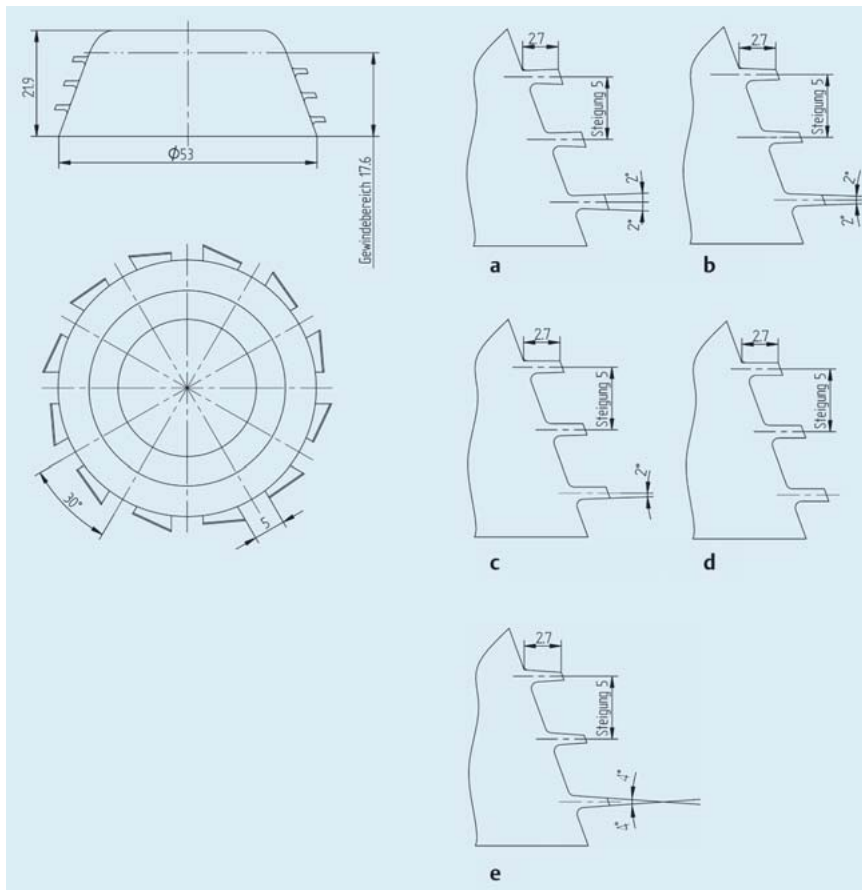


Abb. 1 a bis e Parabolische Prototyppfanne und Gewindegeometrie: a modifiziertes Trapezgewinde, b Trapezgewinde, c Sägewinde, d Flachgewinde, e Spitzgewinde.

Testnummer	konstante Parameter	variable Parameter
Test 1	Pfannendurchmesser: 45 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, SA)
Test 2	Pfannendurchmesser: 53 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, FL, SA, SP)
Test 3	Pfannendurchmesser: 67 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, SA)
Test 4	Pfannenform: parabol Gewindetyp: mTR	Pfannendurchmesser (45 mm, 53 mm, 67 mm)
Test 5	Pfannenform: parabol Gewindetyp: TR	Pfannendurchmesser (45 mm, 53 mm, 67 mm)
Test 6	Pfannenform: parabol Gewindetyp: SA	Pfannendurchmesser (45 mm, 53 mm, 67 mm)
Test 7	Pfannendurchmesser: 53 mm Gewindetyp: FL	Pfannenform (konisch, parabol, sphärisch)
Test 8	Pfannendurchmesser: 53 mm Gewindetyp: SP	Pfannenform (konisch, parabol, sphärisch)
Test 9	Pfannendurchmesser: 53 mm Pfannenform: konisch	Gewindetyp (FL, SP)
Test 10	Pfannendurchmesser: 53 mm Pfannenform: sphärisch	Gewindetyp (FL, SP)

Tab. 2 Analysen der Einzelparameter

12 Blöcke mit Negativform gefertigt; 10 für die Untersuchungen, zwei als Reserve. Die Herstellung der Polyurethanblöcke erfolgte durch CNC-Fräsung. Bei der parabol und konischen Form wurde die Negativform 3 mm tiefer als die Pfannenform gefräst, bei der sphärischen Form entsprach die Negativform der Pfannenform.

Für die Tests wurde die biomechanische Testmaschine MTS Bionix 858.20 (MTS System Corp., Eden Prairie, MN) mit Testar II Digitalregler und Software verwendet. Es ist ein biaxiales servo-hydraulisches Testsystem mit einer maximalen Axialkraft von 25 kN, einem maximalen Drehmoment von 210 Nm, einem axialen Hub von 150 mm und einem Rotationsbereich von 270 Grad. Jede Prototyppfanne wurde mit einem Zwischenstück für die Verbindung zum MTS-Testgerät ausgerüstet. Das Zwischenstück erlaubte eine einfache Verbindung für die Eindrehversuche. Die Verbindung zwischen Pfanne und Zwischenstück war starr. Um einheitliche Randbedingungen bei den Eindrehversuchen zu gewährleisten, wurden die Blöcke in einer speziellen Einspannvorrichtung (Abb. 2) fixiert. Die fixierten Blöcke wurden mit dem gleichen Druck von allen Seiten belastet. Dies geschah über zwei bewegliche Platten durch Justierschrauben. Um eine gleichmäßige Druckverteilung über die Seitenwände der Blöcke zu gewährleisten, wurden die Schrauben mit 10 Nm festgezogen, die Druckverteilung war bei allen Versuchen gleich. Die beweglichen Platten konnten den Blöcken angeglichen werden (± 3 Grad). Somit wurden Überspannungen vermieden. Um eine freie Ausrichtung in diesen Richtungen ohne Querkräfte zu erlauben, wurde bei den Eindrehversuchen die Einspannvorrichtung auf einem XY-Tisch befestigt. Da dieser Tisch in XY-Richtung frei beweglich war, erlaubte der Versuchsaufbau eine reine Drehmomenteinleitung um die Vertikalachse. Kräfte in Vertikalrichtung wurden durch die Axialbewegung der MTS-Testmaschine kompensiert. Die Rotation um die X-Achse wurde durch eine Kupplungsvorrichtung eingeschränkt. Die Rotation um die Y-Achse war frei; das Lager befand sich unterhalb der Haltevorrichtung. Alle Daten wurden mit dem „Industrial Control and Data Acquisition System“ Adwin-Gold (Jäger, Computergesteuerte Messtechnik GmbH, Lorsch, Deutschland) mit 16 Eingangskanälen, 16 Bit Auflösung und 25 ns Zeitgenauigkeit erfasst.

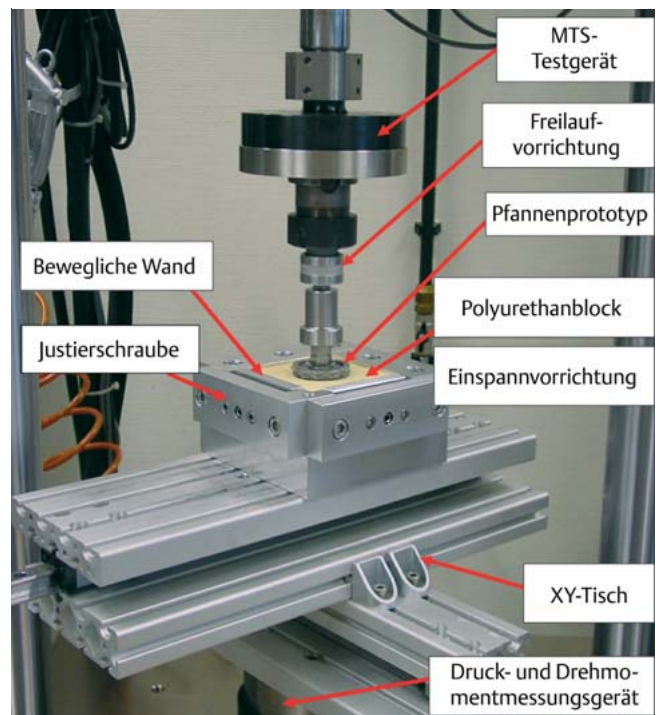


Abb. 2 Versuchsaufbau für Pfanneneindrehversuche.

Die Pfannen wurden in die Blöcke eingedreht und die Messungen der Winkelposition der Prüfmaschine ($^{\circ}$), das aufgebrachte Drehmoment (Nm), die Axialposition der Prüfmaschine (mm) und die axiale Kraft (N) kontinuierlich durchgeführt. Ohne Kontakt zwischen Pfanne und Block wurden die Aufnehmer für Kraft, Drehmoment und Winkelsensoren auf Null gesetzt. Die Pfanne wurde abgesenkt, bis der Kraftaufnehmer eine Kraftveränderung maß. Dieser Punkt wurde als „Nullaxialverschiebung“ definiert. Dabei wurde eine Vorlast von 80 N mit einer konstant steigenden Kraft von 10 N/s appliziert. Danach wurde die Pfanne im Uhrzeigersinn mit einer Winkelgeschwindigkeit von $10^{\circ}/s$ eingedreht; die Vorlast blieb bei 80 N konstant. Nach 250 Grad drehte das MTS-Testgerät um 250 Grad zurück; hierbei wurde

kein Drehmoment appliziert ($< 1,5 \text{ Nm}$). Der Eindrehetest wurde angehalten, nachdem das vordefinierte Eindrehmoment erreicht war.

Die u. a. biomechanischen Parameter, die das Eindrehverhalten charakterisieren, wurden aus der Drehmoment- bzw. Winkelkurve (Abb. 3) bestimmt:

- ▶ **Steigung der Drehmoment-Kurve vor dem Erreichen des Setzpunktes ($\text{Nm}/^\circ$).** Dieser Parameter charakterisiert den Drehmomentwiderstand, der beim Eindrehen vor dem Erreichen des Setzpunktes besteht (Steigung der blauen Linie, Abb. 3). Diese Kurve beschreibt, wie leicht oder schwer es ist, die Pfannen zu Beginn des Eindrehprozesses einzudrehen, wenn nur das Gewinde Kontakt mit dem Schaumstoff hat.
- ▶ **Drehmoment am Setzpunkt (Nm).** Dieser Parameter charakterisiert das Drehmoment beim Erreichen des Setzpunktes und wird durch den Schnittpunkt (grüner Kreis) der blauen und roten Linien bestimmt (Abb. 3). Der Setzpunkt beschreibt den Punkt, an dem der Pfannenkörper in Kontakt mit dem Schaumstoff tritt und das Eindrehmoment sichtbar ansteigt (Steigungsanstieg). Dieser Punkt kann vom Operateur gefühlt werden, wenn es plötzlich schwieriger wird, die Pfanne weiterzudrehen.
- ▶ **Eindrehwinkel bei Erreichen des Eindrehmomentes.** Dieser Parameter charakterisiert den Winkel des Eindrehens, der erforderlich ist, um das vorher spezifizierte Eindrehmoment zu erreichen. Der Eindrehwinkel beschreibt den nötigen Drehwinkel, um den die Pfanne eingedreht werden muss, bis das spezifische Eindrehmoment erreicht wird.
- ▶ **Steigung der Drehmomentkurve nach dem Erreichen des Setzpunktes ($\text{Nm}/^\circ$).** Dieser Parameter charakterisiert den Drehmomentwiderstand, der beim Eindrehen nach dem Erreichen des Setzpunktes besteht (Steigung der roten Linie, Abb. 3). Die Steigung der Eindrehmomentwinkelkurve nach dem Erreichen des Setzpunkts beschreibt, wie schwer oder leicht es ist, die Pfanne weiterzudrehen, nachdem der Setzpunkt erreicht wurde und die Pfanne Kontakt zum Schaumstoff hat.
- ▶ **Steigungsänderung am Setzpunkt.** Dieser Parameter charakterisiert, wie gut der Setzpunkt vom Operateur erkannt werden kann. Ein höherer Wert deutet auf eine gute Fühlbarkeit hin. Der Parameter wird als Verhältnis zwischen den Steigungen der blauen und roten Linien definiert (Abb. 3). Wenn die Änderung sehr groß ist, z. B. zehnfach oder mehr, wird es plötzlich deutlich schwieriger, die Pfanne weiter einzudrehen. Falls die Änderung klein ist, z. B. Faktor 2, kann die Änderung nicht gut wahrgenommen werden.
- ▶ Der **Eindrehwiderstand** kombiniert die o. g. Parameter; ist z. B. eine flache Drehkurve typischerweise mit einem niedrigen Drehmoment am Setzpunkt assoziiert.

Das Eindrehverfahren wurde während der Versuche bei einem vorher definierten Drehmomentwert gestoppt, um sicherzustellen, dass die Pfannen exakt in den Schaumstoff eingedreht werden. Ein exaktes Eindrehen erfordert, dass die Pfanne so weit eingedreht wird, dass der Setzpunkt erreicht, aber nicht überdreht wird. Damit wird erzielt, dass das Gewinde nicht aus dem Schaumstoff ausbricht. Daher wurden alle Pfannen bis zu einem Drehmomentwert zwischen dem Drehmoment am Setzpunkt und dem Drehmomentwert beim Überdrehen eingedreht. Dies setzt voraus, dass der Überdrehmomentwert für jede Pfanne bekannt ist, um das spezifische Eindrehmoment zu ermitteln. Die Proben für die Überdrehversuche konnten nicht für weitere Untersuchungen verwendet werden, daher wurde die Versuchszahl auf zwei beschränkt. Überdrehversuche wurden in einem Pilot-

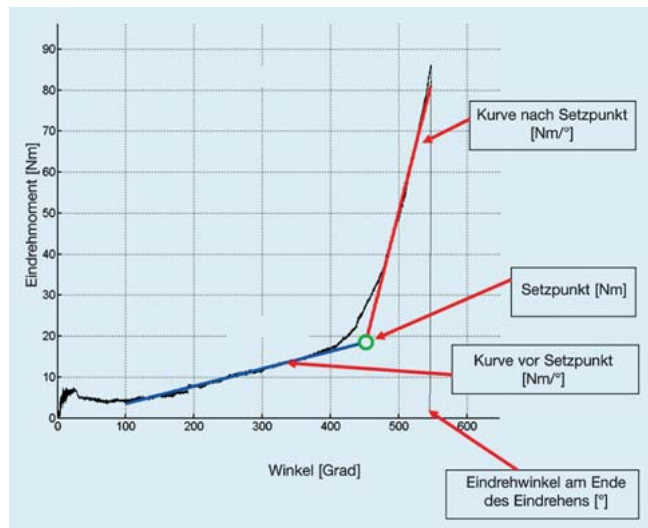


Abb. 3 Darstellung der biomechanischen Parameter des Eindrehverhaltens.

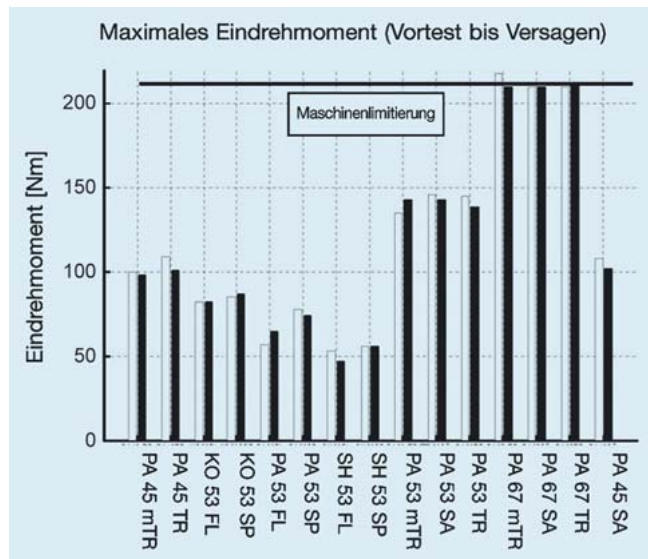


Abb. 4 Maximales Drehmoment bei Überdrehversuchen: Werte von zwei Proben für jeden Prototyp.

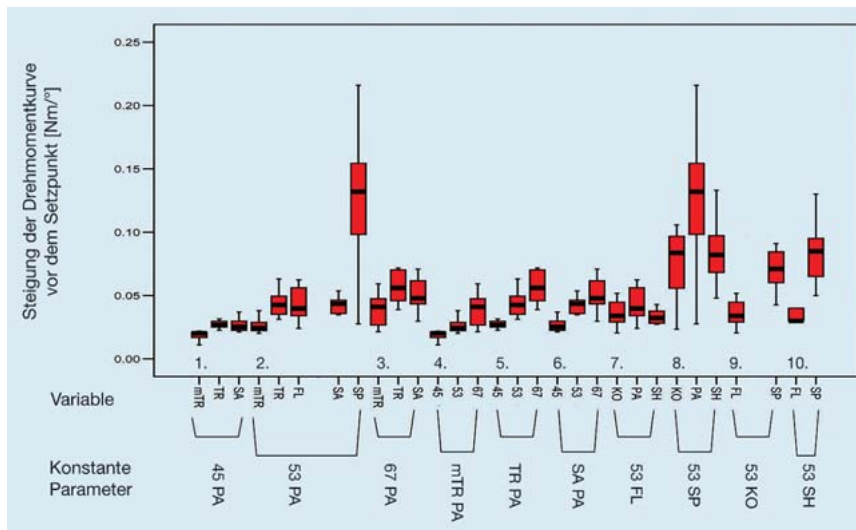
versuch für jede Pfanne mit je 2 Proben durchgeführt (Abb. 4). Da die Ergebnisse für die zwei Versuche relativ ähnlich waren, wurde diese Probengröße als ausreichend angesehen. Weil die Testmaschine keine Drehmomentwerte größer als 210 Nm applizieren konnte, stellen alle Werte über 210 Nm keine echten Versagensmomente dieser Proben dar. Höhere Belastungen waren nicht einstellbar, folglich wurde in diesen Fällen der Wert 210 Nm für weitere Berechnungen verwendet.

Weiterhin wurde der *Setzpunkt* aus der Form der Drehmoment-Winkel-Kurve des Eindrehversuchs errechnet (Abb. 3). Es ist der Punkt, an dem die Änderung des Widerstands gegen das Eindrehen (Änderung der Steigung) am höchsten ist und vom Operateur auch empfunden werden kann. Es wurde angenommen, dass dieser Punkt mit dem Kontaktpunkt zwischen Pfannenkörper und Schaumstoff übereinstimmt.

Mit den Werten Setzpunkt und Überdrehmomentwert (bzw. maximaler Drehmomentwert) wurde das *spezifische Eindreh-*

Tab. 3 Statistische Bestimmungen des Einflusses der einzelnen Pfannendesignparameter auf die Steigung der Drehmomentkurven vor dem Erreichen des Setzpunktes

Test	konstanter Parameter	variabler Parameter	signifikanter Unterschied
1	Pfannengröße: 45 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, SA)	ja (0,001) mTR sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,001$)
2	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, FL, SA, SP)	ja (0,001) mTR sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,009$); SP sign. höher als alle anderen Gruppen ($p < 0,010$)
3	Pfannengröße: 67 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, SA)	nein (0,057) mTR sign. niedriger als TR ($p = 0,038$); mTR ist tendenziell niedriger als SA ($p = 0,059$)
4	Pfannenform: parabol Gewindetyp: mTR	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	ja (0,001) 45 sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,006$); 53 sign. niedriger als 67 ($p = 0,027$)
5	Pfannenform: parabol Gewindetyp: TR	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	ja (0,001) 45 sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,001$); 53 tendenziell niedriger als 67 ($p = 0,059$)
6	Pfannenform: parabol Gewindetyp: SA	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	ja (0,001) 45 sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,002$)
7	Pfannengröße: 53 mm Gewindetyp: FL	Pfannenform (KO, PA, SH)	nein (0,279)
8	Pfannengröße: 53 mm Gewindetyp: SP	Pfannenform (KO, PA, SH)	ja (0,048) PA sign. höher als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,046$)
9	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: konisch	Gewindetyp (FL, SP)	ja (0,009) FL sign. niedriger als SP ($p \leq 0,027$)
10	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: sphärisch	Gewindetyp (FL, SP)	ja (0,001) FL sign. niedriger als SP ($p = 0,001$)

**Abb. 5** Steigung der Drehmomentkurve vor dem Erreichen des Setzpunktes.

moment als Mittelwert zwischen diesen beiden Werten bestimmt. Spezifisches Eindrehmoment = $([\text{maximales Drehmoment} - \text{Setzpunkt}] / 2) + \text{Setzpunkt}$. Das Eindrehverfahren wird angehalten, wenn der Setzpunkt überschritten ist, aber noch kein Überdrehen erreicht wird.

Statistische Berechnungen wurden mit univariater Varianzanalyse (ANOVA) und Bonferroni-adjustierten post-hoc-Tests durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgelegt.

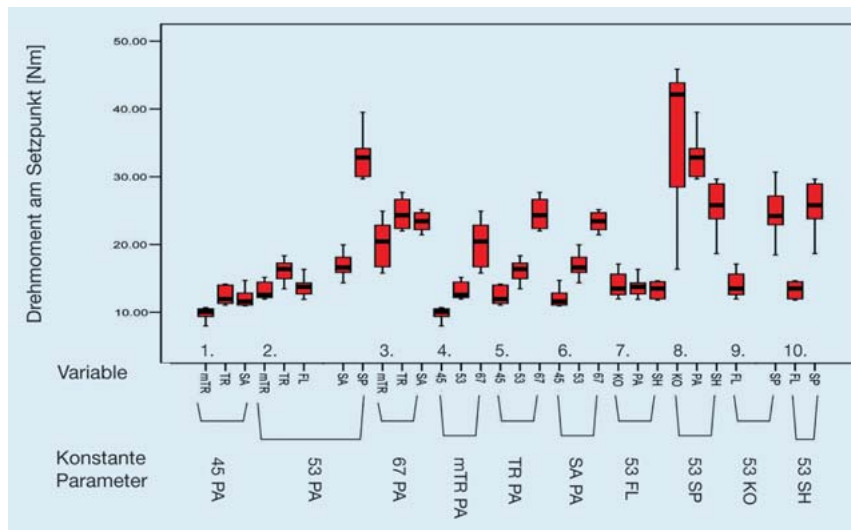
Ergebnisse

In den Ergebnisgrafiken sind die einzelnen Gruppen auf der X-Achse und die jeweiligen Messgrößen (biomechanische Parameter) auf der Y-Achse aufgetragen.

- **Steigung der Drehmomentkurve vor dem Erreichen des Setzpunktes (Nm/°)** (☉ Tab. 3, ☉ Abb. 5). Für mTR-Gewinde auf parabol Pfannen ist der Eindrehmomentanstieg vor dem Setzpunkt bei den 45er- und 53er-Pfannen niedriger als bei allen anderen Gewinden, bei 67er-Pfannen niedriger im Vergleich zu TR- und SA-Gewinden. Zwischen TR- und SA-Gewinde besteht kein Unterschied. Das FL-Gewinde hat sowohl bei sphärischen als auch konischen Pfannen ein niedrigeres Eindrehmoment als das Spitzgewinde. Für SP-Gewinde ist der Drehmomentanstieg bei den 53er-Pfannen größer im Vergleich zu allen anderen Gewindedesigns. Die kleinste Pfannengröße (45 mm) hat bei den parabol Pfannen ein niedrigeres Eindrehmoment als bei den größeren (53 mm, 67 mm) Pfannen.

Tab. 4 Statistische Bestimmungen des Einflusses der einzelnen Pfannendesignparameter auf das Drehmoment am Setzpunkt

Test	konstanter Parameter	variabler Parameter	signifikanter Unterschied	
1	Pfannengröße: 45 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, SA)	ja (0,001)	mTR sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,001$)
2	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, FL, SA, SP)	ja (0,001)	SP sign. höher als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,012$); mTR sign. niedriger als alle anderen Gruppen außer FL ($p \leq 0,012$); FL sign. niedriger als alle anderen Gruppen, ausg. mTR ($p \leq 0,021$)
3	Pfannengröße: 67 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, SA)	ja (0,023)	mTR sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p < 0,036$)
4	Pfannenform: parabol Gewindetyp: mTR	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	ja (0,001)	45 sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p < 0,001$); 53 sign. niedriger als 67 ($p = 0,001$)
5	Pfannenform: parabol Gewindetyp: TR	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	ja (0,001)	45 sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,002$); 53 sign. niedriger als 67 ($p = 0,001$)
6	Pfannenform: parabol Gewindetyp: SA	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	ja (0,001)	45 sign. niedriger als alle anderen Gruppen ($p = 0,001$); 53 sign. niedriger als 67 ($p = 0,001$)
7	Pfannengröße: 53 mm Gewindetyp: FL	Pfannenform (KO, PA, SH)	nein (0,834)	
8	Pfannengröße: 53 mm Gewindetyp: SP	Pfannenform (KO, PA, SH)	ja (0,027)	PA sign. höher als SH ($p = 0,012$); KO tendenziell höher als alle anderen Gruppen ($p \leq 0,074$)
9	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: konisch	Gewindetyp (FL, SP)	ja (0,001)	FL sign. niedriger als SP ($p \leq 0,001$)
10	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: sphärisch	Gewindetyp (FL, SP)	ja (0,001)	FL sign. niedriger als SP ($p \leq 0,001$)

**Abb. 6** Drehmoment am Setzpunkt.

Die Pfannenform zeigt bei 53er-Pfannen mit Flachgewinde keinen Einfluss, nur parabol 53er-Pfannen mit Spitzgewinden haben höhere Eindrehmomente.

- **Drehmoment am Setzpunkt (Nm)** (► Tab. 4, ► Abb. 6). Für mTR-Gewinde ist der Setzpunkt bei allen Pfannengrößen niedriger im Vergleich zu TR- und SA-Gewinden. Zwischen TR- und SA-Gewinden besteht kein Unterschied. FL-Gewinde haben bei parabol 53er-Pfannen einen niedrigeren Setzpunkt als alle anderen Gewindedesigns, außer bei mTR-Gewinden. Für SP-Gewinde ist der Setzpunkt höher im Vergleich zu allen anderen Gewindedesigns.

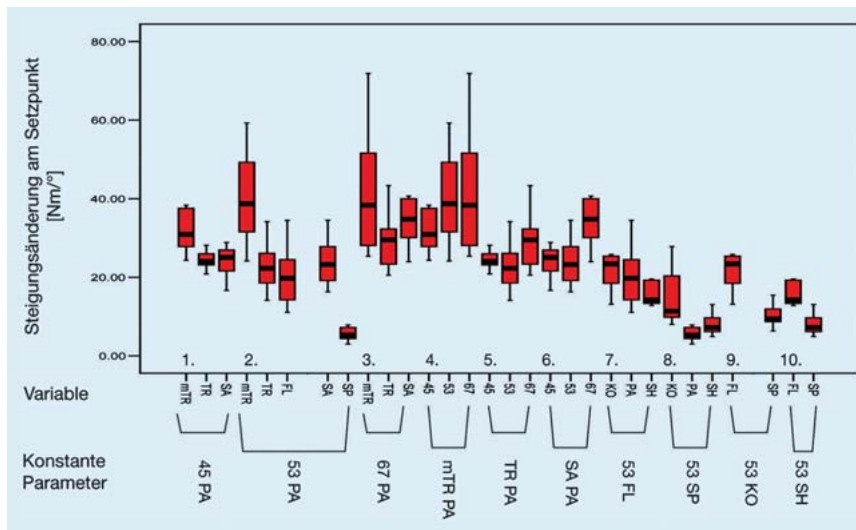
Der Setzpunkt wird auch von der Pfannengröße beeinflusst. Die kleineren Pfannengrößen haben einen niedrigeren Setzpunkt als die jeweils größeren. Die Pfannenform zeigte nur in Kombination mit Spitzgewinden bei parabol 53er-Pfannen einen

Einfluss. Parabol 53er-Pfannen haben ein größeres Drehmoment als sphärische. Bei Flachgewinden besteht kein Einfluss.

- **Steigung der Drehmomentkurve nach dem Setzpunkt (Nm/°)**. mTR-Gewinde haben bei 45er-Pfannen einen niedrigeren Momentanstieg als TR-Gewinde. FL-Gewinde auf parabol 53er-Pfannen zeigen eine niedrigere Steigung als andere Gewinde, außer Spitzgewinde. TR-Gewinde haben bei Pfannengröße 45 eine steilere Steigung als SA-Gewinde. SP-Gewinde weisen bei parabol 53er-Pfannen eine viel flachere Steigung auf im Vergleich zu allen anderen Gewindedesigns. Die Pfannengröße beeinflusst auch nach Erreichen des Setzpunkts die Steigungsänderung der Eindrehmomentkurve unabhängig vom Gewindedesign. Die Steigung wird bei größeren Pfannen steiler. Die kleinsten Pfannen haben ein niedrigeres Eindrehmoment als die größeren Pfannen. Hinsichtlich der Pfannenform haben sphärische Pfannen mit FL-Gewinden eine nied-

Tab. 5 Statistische Bestimmungen des Einflusses einzelner Pfannendesignparameter auf die Steigungsänderung am Setzpunkt

Test	konstanter Parameter	variabler Parameter	signifikanter Unterschied	
1	Pfannengröße: 45 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, SA)	ja (0,006)	mTR sign. höher als alle anderen Gruppen (p = 0,009)
2	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, FL, SA, SP)	ja (0,001)	SP sign. niedriger als alle anderen Gruppen (p = 0,006); mTR sign. höher als alle anderen Gruppen (p = 0,006)
3	Pfannengröße: 67 mm Pfannenform: parabol	Gewindetyp (mTR, TR, SA)	nein (0,174)	
4	Pfannenform: parabol Gewindetyp: mTR	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	nein (0,437)	
5	Pfannenform: parabol Gewindetyp: TR	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	nein (0,141)	
6	Pfannenform: parabol Gewindetyp: SA	Pfannengröße (45 mm, 53 mm, 67 mm)	ja (0,006)	67 sign. höher als alle anderen Gruppen (p = 0,009)
7	Pfannengröße: 53 mm Gewindetyp: FL	Pfannenform (KO, PA, SH)	nein (0,093)	
8	Pfannengröße: 53 mm Gewindetyp: SP	Pfannenform (KO, PA, SH)	ja (0,006)	KO sign. höher als alle anderen Gruppen (p = 0,021)
9	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: konisch	Gewindetyp (FL, SP)	ja (0,006)	FL sign. höher als SP (p = 0,002)
10	Pfannengröße: 53 mm Pfannenform: sphärisch	Gewindetyp (FL, SP)	ja (0,001)	FL sign. höher als SP (p = 0,001)

**Abb. 7** Steigungsänderung am Setzpunkt.

rigere Verlaufskurve als die konischen Pfannen, diese Pfannen mit SP-Gewinden haben eine höhere Kurve.

- ▶ **Maximaler Eindrehwinkel (EDW) (°).** mTR-Gewinde haben nur bei parabol 67er-Pfannen einen höheren Eindrehwinkel als TR-Gewinde. TR-Gewinde zeigen einen niedrigeren Eindrehwinkel als SA-Gewinde. Bei SP-Gewinden ist der maximale Eindrehwinkel niedriger als bei allen anderen Gruppen, außer FL-Gewinden. FL-Gewinde haben bei parabol Pfannen einen maximalen Eindrehwinkel, der niedriger ist als bei den anderen Gewinden, außer bei SP-Gewinden. Bei Pfannen mit konischer Form ist der EDW höher als bei parabol oder sphärischen Formen. Bei kleinen Pfannen ist der maximale Eindrehwinkel höher als bei großen Pfannen. Bei konischen Pfannen ist der maximale Eindrehwinkel höher als bei den übrigen Pfannenformen. Parabole Pfannen haben einen niedrigeren Eindrehwinkel als sphärische Pfannen.
- ▶ **Steigungsänderung am Setzpunkt (Tab. 5, Abb. 7).** Bei mTR-Gewinden ist die Steigungsänderung stärker ausgeprägt als bei allen anderen Gewinden. Für TR- und SA-Gewinde bestand (bei allen Pfannengrößen) kein Unterschied. Für FL-Gewinde war die Steigung höher als bei SP-Gewinden. Für SP-Gewinde (bei parabol Pfannen) war die Änderung der Eindrehmomentsteigung am Setzpunkt am wenigsten ausgeprägt, es ergaben sich fast gar keine Steigungsveränderungen. Die Pfannengröße hatte nur bei parabol 67er-Pfannen mit SA-Gewinden eine steilere Steigung, ansonsten zeigte die Pfannengröße keinen Einfluss. Die Pfannenform hatte hinsichtlich der Steigungsänderung am Setzpunkt bei FL-Gewinden keine Wirkung, bei konischen Pfannen mit SP-Gewinden einen höheren Eindrehmomentanstieg.

Diskussion

Schraubpfannen der 2. Generation ab Mitte der Achtzigerjahre haben sich langfristig bewährt [2–8], wenngleich die Bedeutung im Vergleich zu Pressfitpfannen, zuletzt auch durch die minimalinvasiven Operationstechniken (MIS), geringer geworden ist. Die große, intraoperativ zu kontrollierende Stabilität wird als wesentlicher Faktor für die Verwendung angesehen. Bei der Pfannenimplantation ist für den Operateur entscheidend, dass das Implantat in der Position verankert werden kann, die präoperativ durch die Planung und intraoperativ durch die Präparation, ggf. durch eine zusätzliche Navigation, festgelegt wurde. Insbesondere in sklerosiertem Knochen ist die Wirkung des Gewindes entscheidend, zumal das frühzeitige Verkleben zu Implantatfehlpositionen mit freiem Pfannenrand sowie knöchern nicht bedeckten Gewinden und Impingement führen können.

In dieser Arbeit wurde das Eindrehverhalten von Schraubpfannen durch das Einschrauben der Implantate in *künstliches Knochenmaterial* untersucht. Humanes Knochengewebe ist nicht geeignet, da die Ergebnisse durch den Einfluss der unterschiedlichen Qualität des Knochenmaterials verfälscht werden. Es wäre unmöglich, die geringen Unterschiede der Ergebnisse zwischen einzelnen Parametern zu interpretieren.

Stabilitätstests für zementfreie Hüftpfannen mit *Schaummaterialien* als Knochenersatz wurden bereits oftmals vorgenommen [1,9–13]. Für die Verwendung von Schaum spricht die Homogenität des Materials im Vergleich mit den unterschiedlichen Beschaffenheiten der biologischen Strukturen. Das verwendete Material sollte dennoch damit vergleichbar sein. Auch andere Autoren haben PVC-Schäume verwendet. U. a. zeigten sie, dass der Herex C 70.200-Schaum gut als Knochenersatz für experimentelle Schraubpfannenstudien geeignet ist [10,11]. Der in dieser Studie verwendete Schaumstoff GP 18 von General Plastics ist ein etabliertes und genormtes Material für Eindreh- bzw. Ausreißeversuche (ASTM F1839 – Standard specification for rigid polyurethane foam for use as a standard material for testing orthopaedic devices and instruments). Er besitzt einen Elastizitätsmodul sowie eine Kompressionsfestigkeit, ähnlich wie sie für humane Spongiosa angegeben werden (ASTM F1839), und ist daher für die Studie geeignet.

mTR-Gewinde zeigen ihre wesentlichen Vorteile der *Gewindegeometrie* durch das niedrige EDM vor dem Setzpunkt, am Setzpunkt und die hohe Steigungsänderung am Setzpunkt. Das Flachgewinde zeigt ein vergleichbares Eindrehverhalten wie das mTR, jedoch nicht in dieser markanten Form. Das Spitzgewinde weist hohe Eindrehmomente vor dem Setzpunkt und am Setzpunkt sowie geringe Steigungsänderungen nach dem Setzpunkt auf. TR und SA Gewinde zeigen hinsichtlich der o. a. Kriterien uneinheitliches Eindrehverhalten. Aus dem *Eindrehwinkel* lassen sich hinsichtlich des Eindrehverhaltens keine verwertbaren Aussagen ableiten.

Einer der biomechanischen Parameter zur Quantifizierung des Eindrehverhaltens ist der *Setzpunkt*. Dieser Parameter ist als der „Punkt“ definiert, an dem sich die Steigerung der Drehmoment-Winkel-Kurve ändert. Die zugrunde liegende Hypothese hierzu ist, dass vor dem Erreichen des Setzpunktes nur das Gewinde und nicht der Pfannenkörper Kontakt mit dem Schaumstoff hat. Nach dem Erreichen des Setzpunktes hat der Pfannenkörper Kontakt zum Schaumstoff. Danach erfordert ein weiteres Eindrehen der Pfanne nicht nur die Entfernung bzw. Kompression des Materials durch das Gewinde, sondern auch eine Kompression des Materials an der gesamten Außenfläche der Pfanne. Die-

ses reagiert mit einem sehr viel höheren Widerstand gegen weiteres Eindrehen und es ist daher ein sofortiger Anstieg der Eindrehmomentsteigung bei Kontakt zwischen Pfannenkörper und Schaumstoffwand zu erwarten.

mTR und Spitzgewinde verhalten sich *nach dem Erreichen des Setzpunktes* umgekehrt als zuvor. mTR-Gewinde haben nunmehr einen höheren, SP-Gewinde einen flacheren Anstieg. Ein steiler Anstieg gibt dem Operateur die Möglichkeit, die Änderung des Eindrehverhaltens zu erkennen.

Obwohl sich mTR- und FL-Gewinde hinsichtlich des Eindrehverhaltens wenig unterscheiden, besteht ein großer Unterschied hinsichtlich des *maximalen Eindrehwinkels*. Diesbezüglich besteht nur ein kleiner Unterschied zwischen FL- und SP-Gewinden, sodass der max. EDW hinsichtlich des Gewindes keine Aussage zulässt, jedoch hinsichtlich der Pfannenform.

Die klinische Erfahrung zeigt, dass ein hohes *Eindrehmoment*, das eine große Reibung und Verdrängung zwischen Gewinde und Gewindelager darstellt, eine bessere Sicherheit gegen die mechanische Lockerung gewährleistet. Mit niedrigem Eindrehmoment ist daher Vorspannung notwendig, um die Schale zu sichern. Die Vorspannung sollte jedoch nicht so groß sein, dass der Knochen zerstört wird bzw. Knochenresorption erfolgt. Ein Argument für ein niedriges Eindrehmoment ist der Wunsch des Operateurs, die Schale verklebungsfrei und formschlüssig einzuschrauben und den Kontaktpunkt zu spüren, wenn die Schale den Formschluss erreicht hat und die Vorspannung beginnt.

Eine große *Steigungsänderung am Setzpunkt* ermöglicht das Erkennen des Eindrehverhaltens für den Operateur. Am markantesten ist dies beim mTR-Gewinde, deutlich kommt es auch für das Flachgewinde im Vergleich zum Spitzgewinde zum Ausdruck. Für die Pfannengröße ist dies nicht zu erkennen, außer bei parabolischen 67er-Pfannen mit Sägewinde.

Aussagen zur *Pfannenform* lassen sich nur aus dem max. Eindrehwinkel ableiten. Die tiefere Fräsung für die *konische Form* wurde deshalb vorgenommen, um ein Tiefertreten der Pfanne zu ermöglichen. Bei dieser Form kann bei ausreichender polseitiger Fräsung die knöchernen Pfannenwand komprimiert werden. Hier ist ein langsames Ansteigen des Eindrehmomentes zu erwarten. Bei diesen Pfannen ist der maximale Eindrehwinkel höher als bei den übrigen Pfannenformen, diese Implantate lassen sich somit weiter eindrehen. Bei der *sphärischen Form* steht die Schale nach Erreichen des Formschlusses polseitig an. Das Eindrehmoment steigt dann stark an.

Aufgrund der häufig verwendeten *Pfannengröße 53* wurde diese bei allen Versuchen eingesetzt. Die kleinsten (45 mm) und größeren (67 mm) Pfannengrößen werden selten benötigt, dennoch sollte der Einfluss getestet werden, jedoch nicht mit jedem Gewinde und jeder Form. Aussagen zur Größe bei parabolischen Pfannen werden aus der Drehmomentkurve vor und nach Erreichen des Setzpunktes und am Setzpunkt getroffen. Dabei zeigt sich, dass kleine Pfannen ein niedriges Eindrehmoment und eine kleine Steigung der Drehmomentkurve haben. Die jeweils kleinsten Pfannen mit parabolischer Pfannenform lassen sich somit einfacher und daher weiter eindrehen als größere Pfannen.

Das Eindrehverhalten vor Erreichen des Setzpunktes, das Drehmoment am Setzpunkt sowie die Steigungsänderung am Setzpunkt sind die für das Eindrehen der Schraubpfanne relevanten Kurvenverläufe. Bei diesen Parametern zeigen sich charakteristische Kurvenverläufe für das mod. Trapez-, Flach- und Spitzgewinde, die sich konstruktionstechnisch deutlich unterscheiden. Das seit 1988 verwendete Flachgewinde [14,15] zeigte bei den

bisherigen Untersuchungen die besten Eindreh Eigenschaften [1]. Das nunmehr entwickelte modifizierte Trapezgewinde ist von allen untersuchten Gewinden am leichtesten einzudrehen. Die manuelle Kontrolle ist am besten und reduziert das Risiko des intraoperativen Überdrehens. Dieses Gewinde optimiert die Eindreh Eigenschaften, die klinischen Ergebnisse dazu stehen noch aus.

Hinweis

Die Untersuchung wurde mit Unterstützung des Wissenschaftsfonds der ÖN (Nr. 8867) am AO Forschungsinstitut in Davos durchgeführt.

Interessenkonflikt: Nein

Literatur

- 1 Schwarz M, Scheller G, Effenberger H. Primary stability of threaded cups in total hip arthroplasty. An experimental study. *Biomed Tech (Berl)* 2003; 48: 334–338
- 2 Grübl A, Chiari C, Gruber M, Kaidler A, Gottsauner-Wolff F. Cementless total hip arthroplasty with a tapered, rectangular titanium stem and a threaded cup. *J Bone Joint Surg [Am]* 2002; 84: 425–431
- 3 Epinette JA, Manley MT, D'Antonio JA, Edidin AA, Capello WN. A 10-year minimum follow-up of hydroxyapatite-coated threaded cups: clinical, radiographic and survivorship analyses with comparison to the literature. *J Arthroplasty* 2003; 18: 140–148
- 4 Effenberger H, Ramsauer T, Dorn U. Factors influencing the revision rate of Zweymueller acetabular cup. *Int Orthop* 2004; 28: 155–158
- 5 Pieringer H, Auersperg V, Grießler W, Böhler N. Long-term results with the cementless Alloclassic brand hip arthroplasty system. *J Arthroplasty* 2003; 18: 321–328
- 6 Pospischill M, Knahr K. Cementless total hip arthroplasty using a rectangular tapered stem. Follow-up for ten to 17 years. *J Bone Joint Surg [Br]* 2005; 87: 1210–1215
- 7 Reikeras O, Gunderson RB. Long-term results of HA coated versus HA coated hemispheric press fit cups: 287 hips followed for 11 to 16 years. *Arch Orthop Trauma Surg* 2006; 126: 503–508
- 8 Vervest TM, Malefijt Jde M, Hendriks JC, Gonsens T, Bonnet M. Ten to twelve-year results with the Zweymuller cementless total hip prosthesis. *J Arthroplasty* 2005; 20: 362–368
- 9 Benjamin J, Thomas M, Szivek J. The ability of various acetabular components to resist protrusion migration. *Orthopedics* 1997; 20: 307–310
- 10 Klanke J, Partenheimer A, Westerman K. Biomechanical qualities of threaded acetabular cups. *Int Orthop* 2002; 26: 278–282
- 11 Kody MH, Kabo JM, Markolf KL, Dorey FJ, Amstutz HC. Strength of initial mechanical fixation of screw ring acetabular components. *Clin Orthop* 1990; 257: 146–153
- 12 Litsky AS, Pophal SG. Initial mechanical stability of acetabular prostheses. *Orthopedics* 1994; 17: 53–57
- 13 Witzel U. Mechanische Integration von Schraubpfannen. Ein Beitrag zur hüftendoprothetischen Versorgung. Stuttgart: Thieme, 1996
- 14 Effenberger H, Imhof M, Witzel U. Gewindedesign von Schraubpfannen. *Z Orthop* 2001; 139: 428–434
- 15 Effenberger H. Schraubpfannen. State of the Art. Grieskirchen: Effenberger, 2004