Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Ulm
Abteilung für Zahnärztliche Prothetik
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. P. Ludwig

In-vitro Untersuchungen zur Horizontalbelastung von Implantatpfeilern bei starr gelagerten Freiendprothesen

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Ulm

vorgelegt von
Thilo Munz
Mutlangen
2006

Amtierender Dekan:	Prof. Dr. Klaus-Michael Debatin
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Peter Ludwig
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Franz-Günter Sander
Tag der Promotion:	20. Juli 2006

INHALT

		Seite
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	5
1.	**EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG**	6
2.	**MATERIAL UND METHODIK**	8
2.1	**Allgemeines Hebelmodell der Freiendprothese**	8
2.2	**Spezielles Hebelmodell der Freiendprothese – Versuchsaufbau**	9
2.3	**Kiefermodell und Prothesensattel**	11
2.3.1	Kieferkammsegmente	11
2.3.2	Sattelaufbau	11
2.3.3	Pfeileraufbau	11
2.4	**Verbindungselemente**	12
2.4.1	Elemente der mobil-starren Lagerung	12
2.4.2	Elemente der immobil-starren Lagerung	12
2.5	**Resilienzbewegung Sattel – induktiver Wegsensor**	14
2.6	**Verformung Sattelretention – DMS**	14
2.7	**Horizontale Pfeilerbelastung – induktive Wägezelle**	15
2.8	**Belastungsorte / Belastungsgrößen – Dynamometer**	15
2.9	**Erfassung und Auswertung der Messdaten – Messverstärker**	16
2.10	**Durchführung der Messreihen**	17
3.	**ERGEBNISSE**	19
3.1	**Sattellagerung mobil-starr**	19
3.1.1	Scharniergelenk	19
3.1.1.1	Vertikale Resilienzbewegung	19
3.2	**Sattellagerung immobil-starr**	20
3.2.1	Kunststofffuttergeschiebe	20
3.2.1.1	Vertikale Resilienzbewegung	21
3.2.1.2	Horizontale Pfeilerkräfte	22
3.2.1.3	Verformung der Sattelretention	23
3.2.2	Kunststofffutterteleskop kurz	24
3.2.2.1	Vertikale Resilienzbewegung	25
3.2.2.2	Horizontale Pfeilerkräfte	26
3.2.2.3	Verformung der Sattelretention	27

INHALT

		Seite
3.2.3	Kunststofffutterteleskop lang	28
3.2.3.1	Vertikale Resilienzbewegung	29
3.2.3.2	Horizontale Pfeilerkräfte	30
3.2.3.3	Verformung der Sattelretention	31
3.2.4	Kunststofffutterteleskop lang / Retentionssteg hoch	32
3.2.4.1	Vertikale Resilienzbewegung	33
3.2.4.2	Horizontale Pfeilerkräfte	34
3.2.4.3	Verformung der Sattelretention	35
3.2.5	Kunststofffutterteleskop lang mit Acryl fixiert / Retentionssteg hoch	36
3.2.5.1	Vertikale Resilienzbewegung	37
3.2.5.2	Horizontale Pfeilerkräfte	38
3.2.5.3	Verformung der Sattelretention	39
4.	**DISKUSSION**	40
5.	**ZUSAMMENFASSUNG**	43
6.	**LITERATURVERZEICHNIS**	45
7.	**ANHANG**	49
7.1	**Tabellen**	49
7.1.1	Tabellen Einzelmesswerte	49
7.1.2	Tabellen Mittelwerte	55
7.2	**Danksagung**	61
7.3	**Lebenslauf**	62

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

°C = Celsius

cm = Zentimeter

cm^2 = Quadratzentimeter

cm/sec = Zentimeter pro Sekunde

CrCoMo = Chrom Kobalt Molybdän

D = distal

DMS = Dehnungsmessstreifen

DWL = Degussa Weißgoldlot

E-Modul = Elastizitätsmodul

M = mesial

mm = Millimeter

mV/V = Millivolt pro Volt

MPa = Megapascal

N = Newton

TSW = Thyssen Stahlwerke

V = Volt

Z = zentral

µm = Mikrometer

ø = Durchmesser

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Ein stetig wachsender Anteil älterer Menschen in der Bevölkerung wird auch zukünftig eine Zunahme prothetischer Versorgungen mit festsitzendem oder kombiniert festsitzend-abnehmbarem Zahnersatz erfordern.
Zusätzlich zur Nutzung des eigenen Restzahnbestandes erfährt dabei die Pfeilervermehrung mit Implantaten eine immer häufigere Indikationsstellung (2).

Weist ein Gebiss nur einen geringen Zahnverlust auf, lassen sich konventionelle rein parodontal gelagerte, alternativ aber auch rein implantatgestützte Zahnersatzformen realisieren (31).
Bei stark reduziertem Restzahnbestand bzw. zahnlosen Patienten empfiehlt sich ein parodontal-gingival gelagerter Zahnersatz (16), wobei die Lagerungsbedingungen und der Funktionswert des Ersatzes durch Pfeilervermehrung mittels Implantaten oder rein implantatgestütztem Ersatz (31) verbessert werden können.

Allerdings ergeben sich bei parodontal-implantatgelagertem bzw. implantat-gingivalgestütztem Zahnersatz physiologische, insbesondere aber auch mechanische Probleme:
Natürliche Zähne weisen in Verbindung mit dem umgebenden Parodont eine viscoelastische Deformation (6, 33) mit einer horizontalen Pfeilerauslenkung von 60 µm bis 100 µm (15) auf, welche bei starren Implantaten zu vernachlässigen (6, 26, 27, 28, 30) bzw. grob um den Faktor 10 kleiner ist (20).
Dies bedeutet, dass die physiologische Beweglichkeit natürlicher Zähne eine gewebeschonende parodontal-gingivale Lagerung erlaubt (16), während bei Verwendung ankylotisch (8, 19, 27) eingeheilter, starrer Implantate in Kombination mit implantat-gingivaler Lagerung die Gefahr der Lockerung oder Fraktur des Implantataufbaus bzw. des Implantatpfeilers (6, 25) sowie der Knochenüberbelastung (27, 31) mit nachfolgender Resorption (6) besteht.

Daher gilt es Hebelwirkungen, welche die Implantatpfeiler bei Horizontalbelastung schädigen können (1), durch Wahl von Verbindungs- und Stützelementen mit geeigneten technischen Freiheitsgraden (9) zu steuern.

Grundsätzlich sind drei Implantatbelastungsmodi denkbar (2):
1) Belastung eines freistehenden Implantates
2) Belastung eines mit einem natürlichen Zahn verbundenen Implantates
3) Belastung von zwei miteinander verbundenen Implantaten

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

In der vorliegenden Arbeit soll die Versorgung einer einseitigen Freiendlücke mit einer abnehmbaren, implantat-gingival gelagerten Freiendprothese am Phantommodell untersucht werden.
Dabei war die Horizontalbelastung von Implantatpfeilern bei mobil- bzw. immobil-starr gelagerten Freiendsätteln von besonderem Interesse.

Als Versuchsparameter dienten die Resilienzbewegung der Prothesensättel, die Horizontalbelastung der Stützpfeiler und die Verformung der Sattelretention in Abhängigkeit von:

- der Sattellänge
- dem Schleimhauttegument
- dem Ort und der Größe der vertikalen Sattelbelastung
- den mechanischen Freiheitsgraden der Verbindungselemente und
- der Lagesicherung der Matrizen der verwendeten Verbindungselemente.

2. MATERIAL UND METHODIK

2.1 Allgemeines Hebelmodell der Freiendprothese

Eine sattelnah starre Lagerung einer Freiendprothese kann sowohl mit mobilen als auch immobilen Verbindungselementen erfolgen. Bei Betrachtung der beiden daraus resultierenden Hebelmodelle treten zwei physikalisch unterschiedliche Effekte auf.

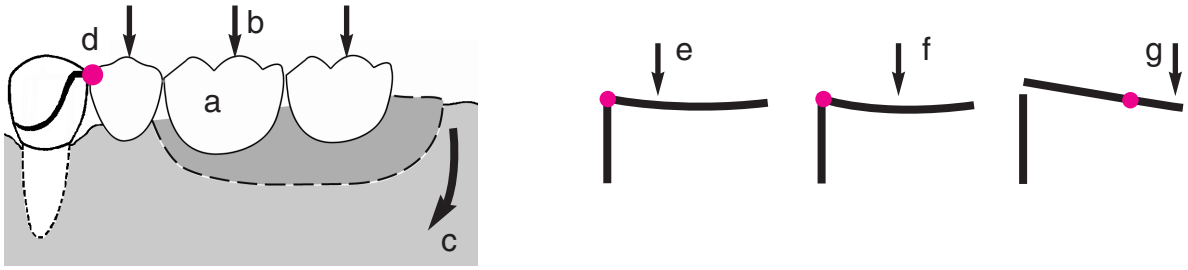

Abb. 1: Hebelmodell der mobil-starren Lagerung

a) Freiendprothese (über Klammer abgestützt)
b) Belastungsorte (mesial, zentral, distal)
c) Einlagerungsrichtung des Sattels
d) Rotationsachse des Sattels
e) Mesialer Belastungspunkt
f) Zentraler Belastungspunkt
g) Distaler Belastungspunkt

Bei sattelnah, mobil-starrer Lagerung (Abb. 1) kommt es bei mesialer (e) und zentraler (f) Sattelbelastung zu einer Rotation der Freiendprothese (a) um die Klammerauflage (d). Die großen vertikal-rotatorischen Freiheitsgrade einer klammer-gestützten Freiendprothese ergeben eine parodontal-gingivale Abstützung (c). Dabei erfährt das Prothesengerüst eine caudale Stauchung (3, 4). Bei distaler (g) Sattelbelastung kommt es dagegen durch einen Hypomochlioneffekt der Schleimhaut zum anterioren Abheben der Prothese vom Pfeilerzahn.

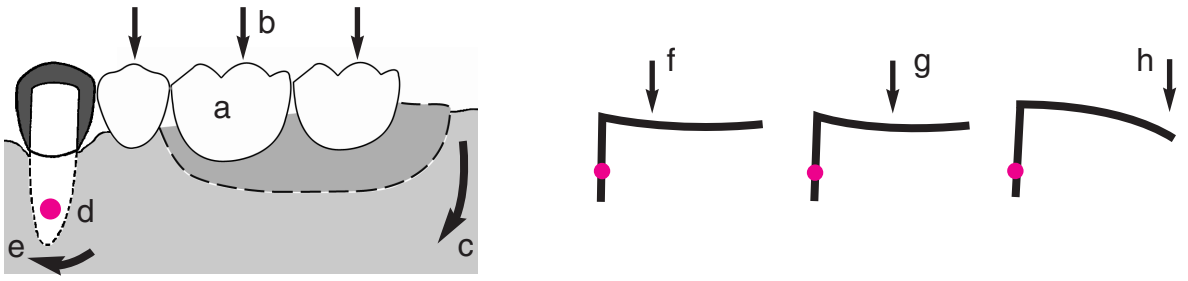

Abb. 2: Hebelmodell der immobil-starren Lagerung

a) Freiendprothese (über Geschiebekrone abgestützt)
b) Belastungsorte (mesial, zentral, distal)
c) Einlagerungsrichtung des Sattels
d) Rotationsachse des Sattels
e) Horizontalauslenkung des Pfeilerzahns
f) Mesialer Belastungspunkt
g) Zentraler Belastungspunkt
h) Distaler Belastungspunkt

Bei sattelnah immobil-starrer Lagerung (Abb. 2) verhindert die starre Verbindung von Pfeilerzahn und Freiendprothese eine freie Resilienzbewegung des Sattels. Vielmehr kommt es bei mesialer (f) bis zentraler (g) Belastung des Sattels zu einer Rotation der Freiendprothese (a) um einen Drehpunktpunkt im Wurzelbereich des Pfeilerzahns (d), wobei sowohl eine Einlagerung des Sattels in die Schleimhaut (c) als auch eine geringfügige Horizontalauslenkung (e) des Pfeilerzahns erfolgt. Dabei wird das Prothesengerüst auf Stauchung belastet. Bei zunehmend distaler (h) Sattelbelastung wirken auf den Pfeilerzahn dagegen vertikal-extrusive Kräfte. Das Prothesengerüst wird auf Dehnung belastet (3, 4).

2.2 Spezielles Hebelmodell der Freiendprothese und Versuchsaufbau

Mit dem hier dargestellten Versuchsmodell einer Freiendsituation konnte sowohl eine mobil-starre als auch eine immobil-starre Lagerung simuliert werden.
Analog zu einem physikalischen Hebel war die Rotationsachse des Prothesenpfeilers durch einen mechanischen Drehpunkt definiert. War dieser Drehpunkt entsprechend einem natürlichen Zahn frei beweglich, so rotierte der Sattel sowie die Sattelretention (a) bei vertikaler Belastung (b) um seine Rotationsachse (e). Wurde die Rotationsachse entsprechend einem Implantatpfeiler blockiert (d), so wanderte der Drehpunkt nach cranial und der Sattel rotierte um einen Drehpunkt im coronalen Anteil des Prothesenpfeilers (f).

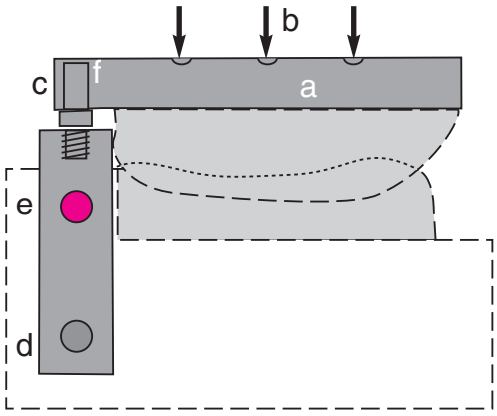

Abb. 3: Hebelmodell

a) Retentionssteg
b) Belastungsorte (mesial, zentral distal)
c) Verbindungselement mit Prothesenpfeiler
d) Pfeilerarretierungsstift
e) Rotationsachse
f) Rotationsachse im coronalen Implantatanteil

2. MATERIAL UND METHODIK

Der Versuchsaufbau setzte sich im Wesentlichen zusammen aus:

- Austauschbaren Kieferkämmen und Prothesensätteln, die über einen Retentionssteg und ein Verbindungselement mit dem Prothesenpfeiler verbunden waren (a).
- Rotierbar gelagerten Prothesenpfeilern mit Arretierwinkeln (e) zur Fixierung der Verbindungselemente.
- Wegsensoren zum Erfassen der Reslienzbewegung der Sättel (b), Dehnungsmessstreifen (DMS) (d) zur Ermittlung der Verformung des Retentionsstegs und einer Wägezelle (c) zur Messung der horizontalen Pfeilerkräfte.
- Zusätzlich wurde ein Dynamometer zur manuellen Krafteinleitung sowie ein Messverstärker zur Erfassung und Auswertung der Messdaten verwendet.

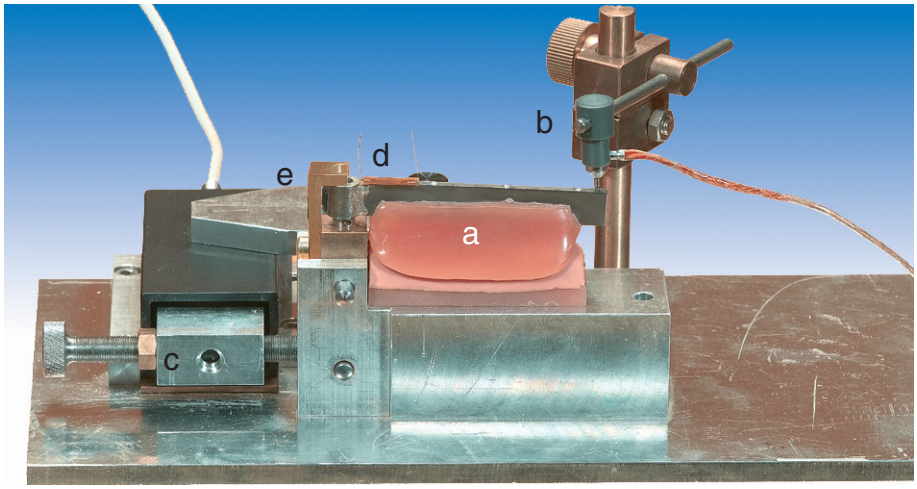

Abb. 4: Versuchsaufbau

a) Hebelmodell mit Prothesensattel, Kieferkamm, Retentionssteg und Verbindungselement
b) Wegsensor
c) induktive Wägezelle
d) Dehnungsmessstreifen (DMS)
e) Arretierwinkel für Verbindungselemente

2.3 Kiefermodell und Prothesensattel

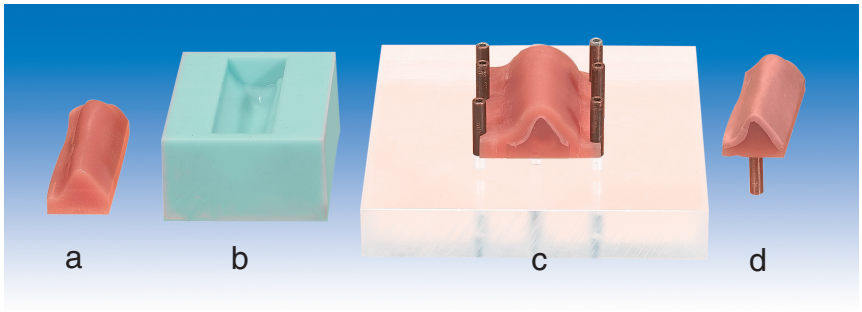

Abb. 5: Kiefermodell und Prothesensattel

a) Ursattel
b) Doupliermodell
c) Douplierlehre mit Kieferkammmodell und Silonebeschichtung
d) fertiggestelltes Kiefermodell

2.3.1 Kieferkammsegmente

Die Kieferkammmodelle bestanden aus zwei unterschiedlich langen unbezahnten, lateralen Kieferkammsegmenten (3,2 und 4,7 cm) aus Polymethylmetacrylat (Palapress, Kulzer) mit einer Silikonbeschichtung (Silone, Detax, Shore-Härte 44-48) in der Stärke von jeweils 1 mm und 2 mm zur Simulation der natürlichen Resilienz der Gingiva.

2.3.2 Sattelaufbau

Als Prothesensättel wurden zwei unterschiedlich lange Freiendsattelformen (3,2 und 4,7 cm) aus Polymethylmetacrylat (Palapress, Kulzer) verwendet. Sie wurden auf Urmodellen (a) aus Modellgips in Spritzpresstechnik hergestellt und mittels einer speziellen Doublierlehre (c) zur Formgebung der resilienten Silikonauflageflächen der Kieferkämme genutzt.
Die wirksamen Auflageflächen der kurzen und langen Prothesensättel betrugen 6,5 cm^2 und 8,6 cm^2.

2.3.3 Pfeileraufbau

Der Prothesenpfeiler (Messing 1 x 1 x 3,3 cm) war als zweiarmiger Hebel ausgebildet, der drehbar auf einer mittig angebrachten Stahlachse (ø 4 mm) gelagert sowie mit einem Arretierungsbolzen und einer Gewindebohrung (4 mm) für verschiedene Verbindungselemente ausgestattet war.

2.4 Verbindungselemente

Die Lagerung der Freiendsättel erfolgte mit Verbindungselementen der mobil-starren und der immobil-starren Lagerung.

2.4.1. Elemente der mobil-starren Lagerung

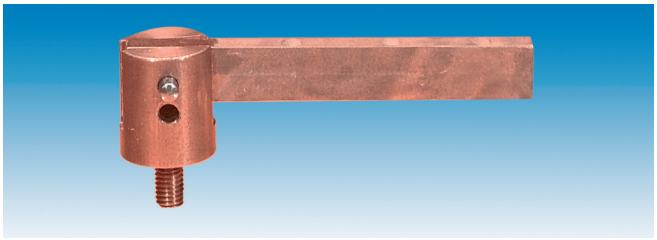

Abb. 6: Verbindungselement der mobil-starren Lagerung

Die mobil-starre Lagerung entspricht in ihrem Aufbau dem Prinzip einer gelenkigen Ankopplung des Sattels an den Pfeilerzahn. Prototypen für diese Lagerungsart sind Doppelarmklammern mit Auflage und Geschiebescharniere.
Als Phantomaufbau für die mobil-starre Lagerung der Freiendsättel diente ein Messinggelenk (Höhe 12 mm, ø 10 mm, ø Drehachse 2 mm) mit definierter Rotationsachse und Retentionsstegen (Messing, 43 x 3 x 6 mm und 59 x 3 x 6 mm) zur Befestigung der unterschiedlich langen Kunststoffsättel.

2.4.2. Elemente der immobil-starren Lagerung

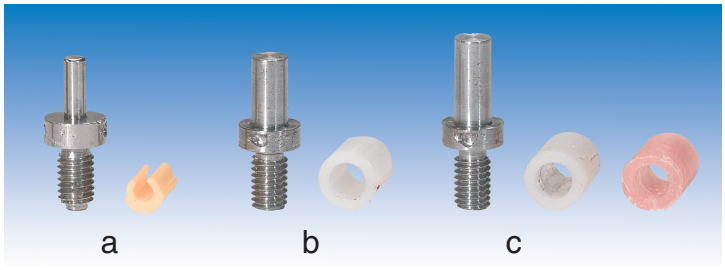

Abb. 7: Patrizen und Matrizen der immobil-starren Lagerung

a) Patrize mit Geschiebematrize (gelb) für Kunststofffuttergeschiebe (Preci-Vertix)
b) Patrize mit Kunststofffuttermatrize für Kunststofffutterteleskop kurz
c) Patrize mit Kunststofffuttermatrize und Acrylmatrize für Kunststofffutterteleskop lang, bzw. lang (Retentionssteg hoch) und Kunststofffutterteleskop lang (Retentionssteg hoch, Acryl)

2. MATERIAL UND METHODIK

Die immobil-starre Lagerung entspricht in ihrem Aufbau dem Prinzip einer in sich starren technischen Ankopplung des Sattels an den Pfeilerzahn. Prototypen für diese Lagerungsart sind Geschiebe und Teleskopkronen.
Als Phantomaufbauten für die immobil-starre Lagerung der Freiendsättel dienten Geschiebe- und Teleskopkronenanaloge.

Als Geschiebeprototyp wurden Kunststofffuttergeschiebe (Preci-Vertix) (a) gewählt. Diese bestanden aus zylindrischen Geschiebepatrizen aus gehärtetem und geschliffenem Silberstahl (ø 1,8 mm, aktive Länge 5 mm) und gegossenen Geschiebematrizen (CrCoMo, Wandstärke 1 mm), die mit jeweils einem konfektionierten, friktiven Kunststofffutter (Preci-Vertix gelb) versehen waren.
Die Fixierung der Freiendsättel erfolgte mittels Retentionsstegen (Edelstahl: TSW 1.4301, E-Modul $200x10^3$ MPa, 35 x 2 x 4 mm, 50 x 2 x 4 mm) die an die Chromkobalthülsen angelötet waren (Lot: DWL, Degussa).

Als Teleskopprototyp wurden zylindrische Kunststofffutterteleskope unterschiedlicher Länge gewählt (b, c). Diese bestanden aus zylindrischen Teleskoppatrizen (Edelstahl, ø 2,96 mm, aktive Länge 5,5 und 7 mm) und zylindrischen Teleskopmatrizen (Edelstahl, ø innen 4,9 mm, außen 7 mm, aktive Länge 6,5 und 8 mm) mit einer Wandstärke von 1 mm, die mit jeweils einem individuellen, friktiven Kunststofffutter (Polyoxymethylen; Hostaform, E-Modul 100 MPa, ø innen 2,98 mm, ø außen 5,91 mm, aktive Länge 5,5 und 7 mm) versehen waren.
Die Fixierung der Freiendsättel erfolgte mittels Retentionsstegen (Edelstahl: TSW 1.4301, E-Modul $200x10^3$ MPa, 37 x 2 x 4 mm, 52 x 2 x 4 mm, bzw. 37 x 2 x 8 mm, 52 x 2 x 8 mm), welche an die Sekundärteile angelötet waren (Lot: DWL, Degussa).

Zusätzlich wurde bei der langen Teleskopversion mittels einer starren Kunststofffixierung aus Methylmetacrylat (Palapress, Kulzer) auch eine absolut immobil-starre Verbindung zwischen Teleskopmatrize und Teleskoppatrize simuliert und messtechnisch untersucht.

2.5 Resilienzbewegung Sattel – induktiver Wegsensor

Zur Erfassung der unterschiedlichen Resilienzbewegungen der Prothesensättel wurde ein induktiver Wegaufnehmer (b) (Speisespannung 1 V) mit einem linearen Messsignal über eine Vorschubstrecke von 2 mm und einer Auflösung von bis zu 2 µm eingesetzt.
Der Wegsensor war an einem justierbaren Stativ befestigt. Der Messpunkt für die Resilienzbewegungen lag stets am distalen Sattelende.
Die Eichung des Wegsensors erfolgte auf einer optischen Bank mit Hilfe einer Mikrometerschraube (Kalibrierung 2 µm).
Durch Veränderung des Phasenabgleichs des Trägerfrequenzverstärkers (Hellige TF 20 600 8 01) war bei linearem Mikrometervorschub eine lineare Messsignal-charakteristik gegeben.
Um ein größtmögliches Maß an Linearität zu erhalten, wurde für die Messungen das mittlere Drittel des Vorschubbereichs genutzt.

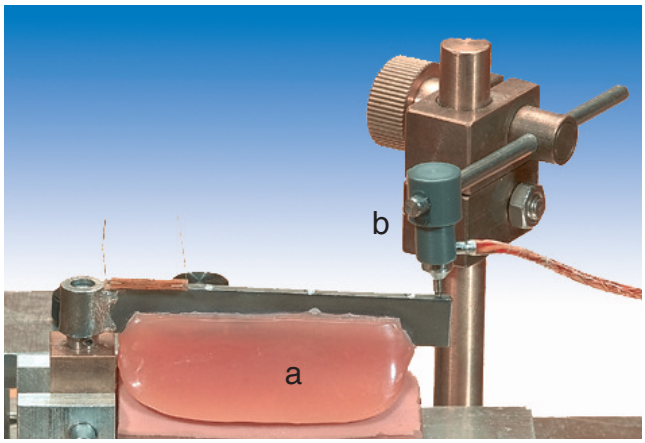

Abb.8: Hebelmodell Seitenansicht

a) langer Kieferkamm mit langem Prothesensattel
b) induktiver Wegsensor

2.6 Verformung Sattelretention – Dehnungsmessstreifen (DMS)

Die unterschiedlichen Verformungseffekte der Retentionsstege infolge der unterschiedlichen Sattelkinematik und der unterschiedlichen technischen Freiheitsgrade der verwendeten Verbindungselemente wurden mit Dehnungsmessstreifen (DMS) (Hottinger Baldwin Messtechnik) erfasst.
Die DMS (Sattel kurz: 3/120 LY 51, Sattel lang: 6/120 LY 51) wurden mit Sekundenkleber (Orthofix) auf den Retentionsstegen fixiert, anschließend in einer speziellen Einspannvorrichtung mit definierten Kräften an den vorgegebenen Lastorten der Freiendsättel bei einer Speisespannung von 1 V und einer Verstärkung von 2 mV/V geeicht.

2.7 Horizontale Pfeilerbelastung – induktive Wägezelle

Die durch die Sattelkinematik induzierten horizontalen Pfeilerbelastungen wurden mit einer fest installierten DMS-Wägezelle (a) (Hottinger Baldwin Messtechnik, Z8/C18355) an der anterioren Basis des zweiarmigen, drehbar gelagerten Phantompfeilers gemessen. Die Wägezelle wurde bei arretiertem Pfeiler justiert und die Messsignale mit definierten Kräften bei einer Speisespannung von 2,5 V und einer Verstärkung von 10 mV/V geeicht.

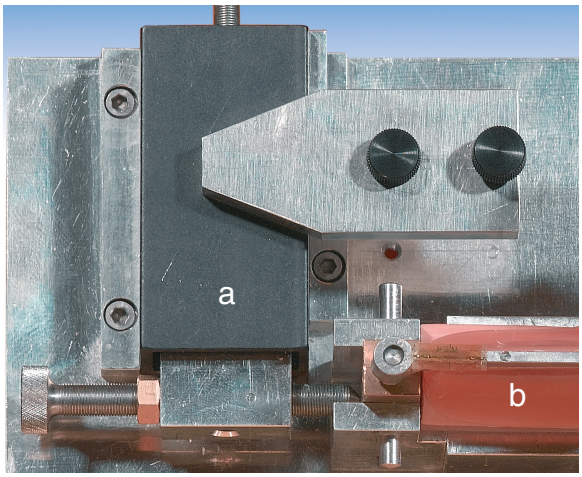

Abb. 9: Hebelmodell Aufsicht

a) induktive Wägezelle
b) Hebelmodell mit Kieferkamm und Prothesensattel

2.8 Belastungsorte / Belastungsgrößen – Dynamometer

Alle Retentionsstege waren mit genormten Bohrungen zur Krafteinleitung mit dem Dynamometer versehen. Die Lastapplikation mit dem Dynamometer erfolgte bei einer Speisespannung von 1 V und einer Verstärkung von 20 mV/V jeweils senkrecht zur Okklusionsebene im mesialen, zentralen und distalen Bereich des Prothesensattels.
Die Lastorte der kurzen Freiendsättel waren in Abständen von 14 mm (M), 23 mm (Z), 34 mm (D), die Lastorte der langen Freiendsättel in Abständen von 19 mm (M), 33 mm (Z), 49 mm (D) von der Pfeilerachse angeordnet.



Abb. 10: Dynamometer (Kontaktor)

2.9 Erfassung und Auswertung der Messdaten – Messverstärker

Sämtliche Messsignale wurden in einen Trägerfrequenzverstärker (c) (Hellige TF 206 008 01) eingespeist. Dynamometer (b), induktiver Wegsensor, DMS und Wägezelle (a) wurden über Halbbrückenschaltungen (Wheatstone'sche Brücke) an die Verstärker adaptiert. Unter Beibehaltung der genannten Speisespannungen und Verstärkungen wurden von jedem Messaufnehmer vor und nach den einzelnen Messreihen Eichkurven erstellt. Etwaige Messfehler konnten somit rechtzeitig erkannt und eliminiert werden.
Alle Messreihen wurden dreimal wiederholt und anschließend gemittelt. Die Streuung innerhalb der Messreihen war so gering, dass in den grafischen Darstellungen auf Standardabweichungen verzichtet werden konnte.
Die Pfeilerbewegungen in der Horizontalebene und die damit korrelierenden Verformungen der Retentionsstege wurden unabhängig von ihren Richtungsvorzeichen grafisch dargestellt.
Alle Messdaten wurden synchron über die Zeit erfasst und auf einem x-y Thermoschreiber (Hellige HE 7) mit einem Vorschub von 1 cm/sec simultan aufgezeichnet. Somit konnten vergleichende Aussagen getroffen werden. Die Messwerte wurden mit Hilfe der erstellten Eichkurven in die entsprechenden Messeinheiten umgerechnet.

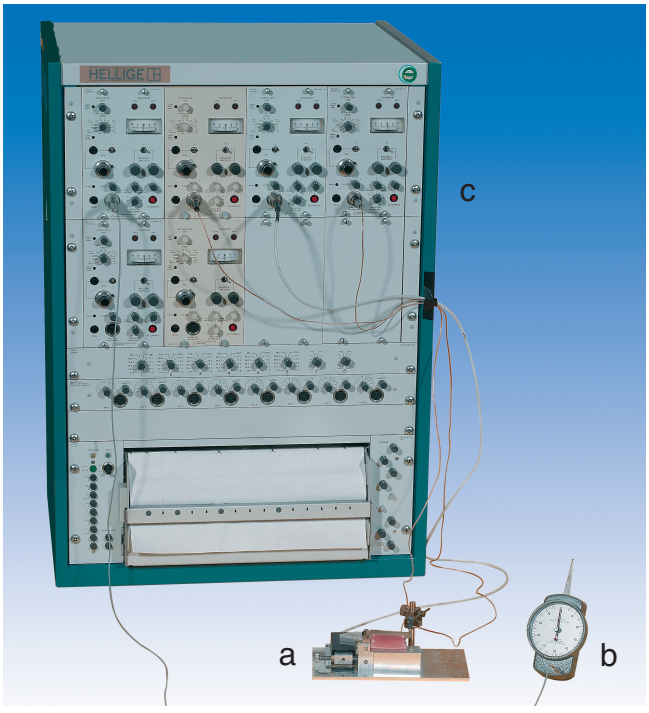

Abb. 11: Aufbau der Messanordnung

a) Versuchsmodell mit induktiver Wägezelle, induktivem Wegsensor und DMS
b) Dynamometer
c) Messverstärker

2. MATERIAL UND METHODIK

2.10 Durchführung der Messreihen

Die endgültigen Messreihen fanden unter konstanten Laborbedingungen von ca. 24° C binnen vier Wochen statt, da vor allem der Werkstoff Silone einem Alterungsprozess unterworfen ist.

Zur Anwendung kamen Prothesensättel in kurzer und langer Ausführung mit jeweils dünnem und dickem Kammtegument.

Die Belastung der Sättel erfolgte mit mesialer, zentraler und distaler Lastapplikation in jeweils drei Messzyklen, analog physikalischer Kaukräfte, von 10, 20, 30, 40 und 50 N. Die Krafteinleitung erfolgte dabei dynamisch, wobei nach jeder Messung eine ausreichend lange elastische Rückstellzeit beachtet wurde. Alle drei Messzyklen ergaben dieselben Werte, weshalb in den Tabellen im Anhang auch nur ein Wert für den jeweiligen Messzyklus angegeben wird.

Mit dem Scharniergelenk (Lagerung mobil-starr) konnte messtechnisch nur die Resilienz ausgewertet werden.

Mit den Geschiebe- und Teleskopvarianten (Lagerung immobil-starr) konnten folgende Messkombinationen durchgeführt werden:

1. Pfeiler nicht arretiert / Matrizen der Verbindungselemente fixiert
2. Pfeiler nicht arretiert / Matrizen der Verbindungselemente nicht fixiert
3. Pfeiler arretiert / Matrizen der Verbindungselemente fixiert
4. Pfeiler arretiert / Matrizen der Verbindungselemente nicht fixiert

Allerdings waren die Messreihen mit arretiertem Pfeiler bzw. nicht arretiertem Pfeiler und nicht fixierten Patrizen der Verbindungselemente bei langen Sätteln weder mit den Geschieben noch mit den Teleskopkronenanalogen durchführbar. Vorversuche zeigten, dass Belastungsgrößen von 40 und 50 N bei distaler Sattelbelastung geringfügige vertikale Anhebungen der Matrizen der Verbindungselemente provozierten. Auslöser dieses Effektes war ein resilienzbedingtes Hypomochlion der Prothesenlagerfläche im distalen Satteldrittel, welches eine Aufrichtung des anterioren Sattelendes bewirkte.

Um eine möglichst übersichtliche Darstellung der Messergebnisse gewährleisten zu können wurden die Ergebnisse der einzelnen Messreihen als Mittelwerte aus den Sattelbelastungen von 10-50 N in Zweiachsendiagrammen dargestellt. Die Messwerte entsprechen somit durchschnittlichen Sattelbelastungen von 30 N. Einzelmesswerte und Mittelwerte sind im Anhang tabellarisch aufgeführt.

2. MATERIAL UND METHODIK

Die für diese Dissertation relevante Statistik beschränkt sich auf die Deskription der erhobenen Daten, da die geringe Fallzahl eine teststatistische Auswertung nicht ermöglichte. Die drei Zielgrößen waren Resilienzbewegung der Prothesensättel, Horizontalbelastung der Pfeiler und die Verformung der Sattelretention. Der Einfluss von folgenden Merkmalen wurde für jede der Zielgrößen untersucht:
Vertikale Sattelbelastung (mesial, zentral, distal), Schleimhauttegument (1mm, 2 mm), Sattellänge (kurz, lang), mechanische Freiheitsgrade der Verbindungselemente (Pfeiler nicht arretiert, Pfeiler arretiert), Lagesicherung der Matrizen der Verbindungselemente (fixiert, nicht fixiert) und Auswahl der Verbindungselemente (mobil-starr: Scharniergelenk; immobil-starr: Kunststofffuttergeschiebe bzw. Kunststofffutterteleskop kurz, lang, lang/Retentionssteg hoch, lang mit Acryl fixiert/Retentionssteg hoch).
Zunächst wird beschrieben, wie sich die einzelne Zielgröße unter den jeweiligen Laborbedingungen bei den drei Belastungspunkten verhielt. Da sich die Differenzen in den Zielgrößen, abhängig von der jeweiligen Einflussgröße zu den drei Belastungspunkten, nicht stark unterschieden, wurden in einem weiteren Schritt für die vertikale Resilienzbewegung und die horizontalen Pfeilerkräfte die über die Belastungspunkte gemittelten Werte der Zielgröße (Mittelwerte aus mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung), sowie Minima und Maxima (Minima = mesialer, Maxima = distaler Wert) angegeben. Für die Verformung der Sattelretention wurden keine Mittelwerte aus mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung, sondern nur mesialer und distaler Wert angegeben. Eine getrennte Betrachtung ohne Mittelwerte war notwendig, da somit der aufgetretene Vorzeichenwechsel deutlicher gezeigt werden konnte.

3. ERGEBNISSE

3.1 Sattellagerung mobil-starr

3.1.1 Scharniergelenk

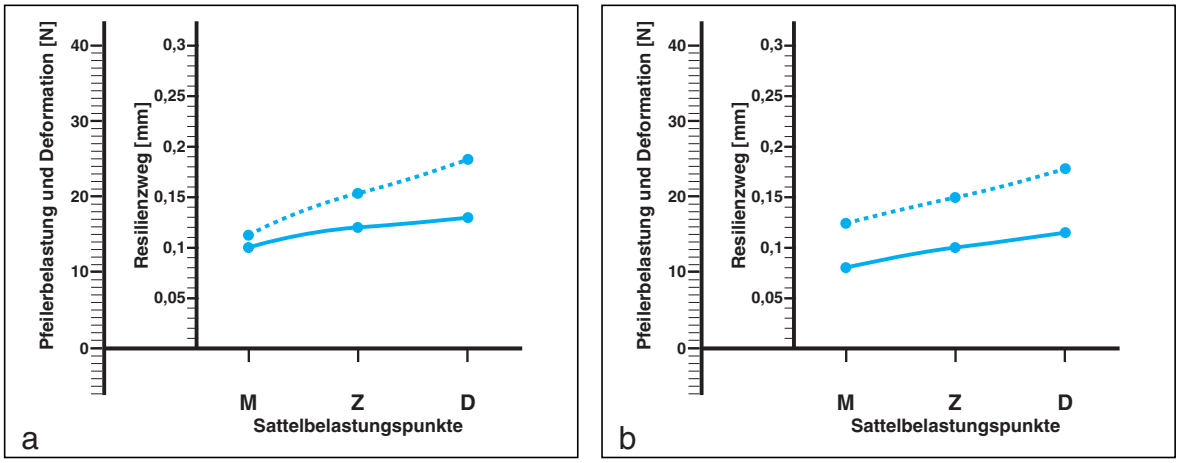

Abb. 12: Lagerung Scharniergelenk: mobil-starr

Resilienzweg Prothesensattel (blau) [mm] kurz (a) und lang (b) bei mesialer (M), zentraler (Z) und distaler (D) Sattelbelastung, Lagertegument 1 mm (–), Lagertegument 2 mm (--).

3.1.1.1 Vertikale Resilienzbewegung

Die vertikale Resilienzbewegung der Freiendsättel nahm mit distaler Sattelbelastung linear zu.

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments variierten bei kurzem Sattel zwischen 0,1 und 0,13 mm (Mittelwert 0,12 mm), bei langem Sattel zwischen 0,08 und 0,11 mm (Mittelwert (0,1 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments variierten bei kurzem Sattel zwischen 0,11 und 0,19 mm (Mittelwert 0,15 mm), bei langem Sattel zwischen 0,13 und 0,18 mm (Mittelwert 0,15 mm).

Die gelenkgeführte, mobil-starre Lagerung ermöglichte eine vertikale Sattelkinematik, die in idealer Weise mit der Resilienz des Kammteguments korrelierte.
Eine voluminöse Gingiva bewirkte eine Verstärkung der Resilienzbewegung des Prothesensattels.
Zwischen langem und kurzem Sattel konnten im Mittel nahezu gleiche Resilienzwege festgestellt werden.

3.2 Sattellagerung immobil-starr

3.2.1 Kunststofffuttergeschiebe (Preci-vertix)

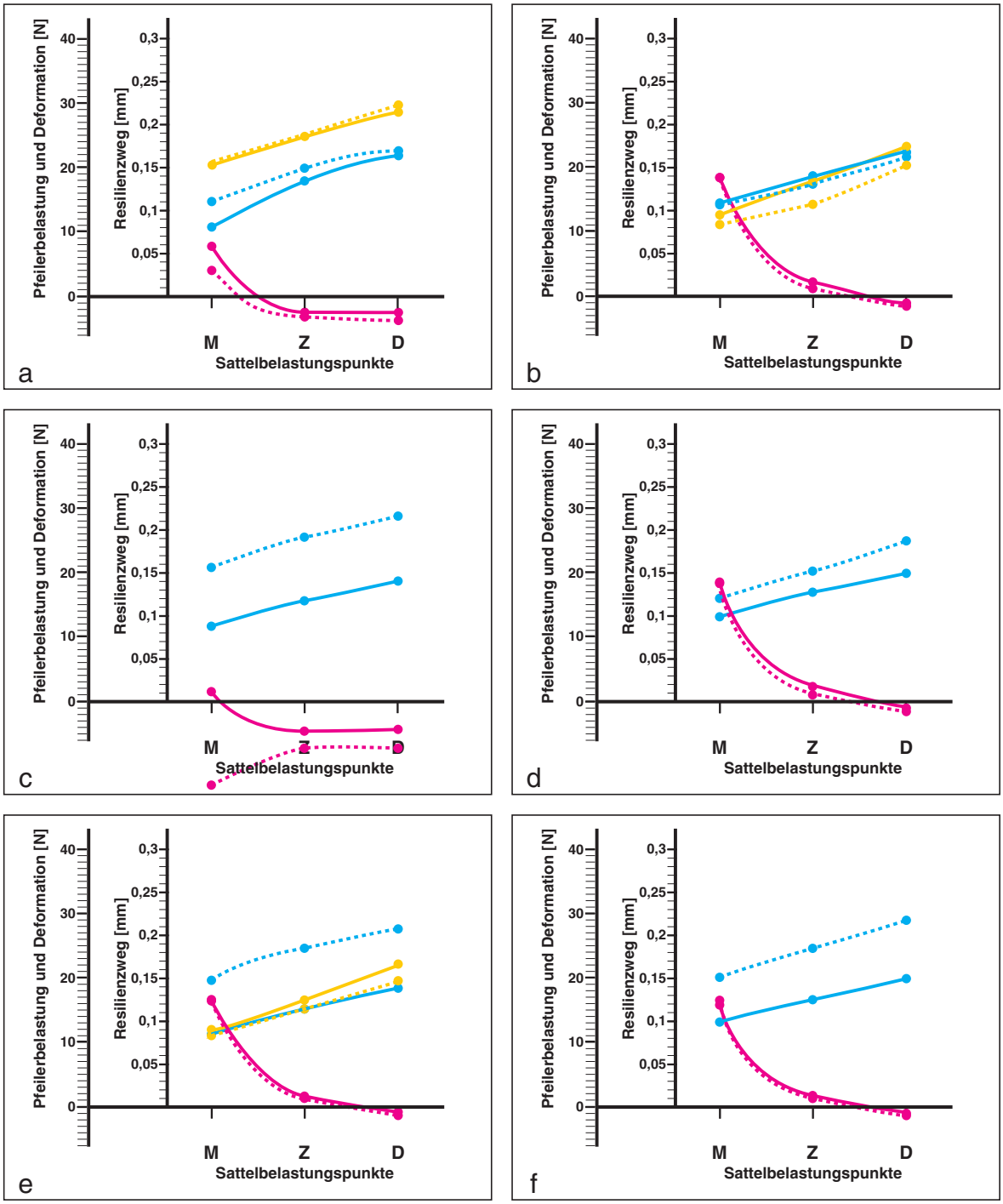

Abb. 13: Lagerung Geschiebe: immobil-starr

(a) Sattel kurz und (e) Sattel lang, Pfeiler nicht arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(b) Sattel kurz, Pfeiler nicht arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
(c) Sattel kurz und (f) Sattel lang, Pfeiler arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(d) Sattel kurz, Pfeiler arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
Resilienzweg Prothesensattel (blau) [mm], horizontale Pfeilerkräfte (gelb) [N] und Deformation Sattelretention (rot) [N] bei mesialer (M), zentraler (Z) und distaler (D) Sattelbelastung. Lagertegument 1 mm (–), Lagertegument 2 mm (--).

3. ERGEBNISSE

3.2.1.1 Vertikale Resilienzbewegung

Die vertikale Resilienzbewegung der Freiendsättel nahm mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,08 und 0,15 mm (Mittelwert 0,12 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,16 mm (Mittelwert 0,14 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,14 mm (Mittelwert 0,12 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,15 mm (Mittelwert 0,13 mm).

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,14 mm (Mittelwert 0,11 mm) bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,15 mm (Mittelwert 0,12 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,17 mm, (Mittelwert 0,14 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,17 mm (Mittelwert 0,14 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,16 und 0,22 mm (Mittelwert 0,19 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,12 und 0,19 mm (Mittelwert 0,15 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,15 und 0,21 mm (Mittelwert 0,18 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,15 und 0,22 mm (Mittelwert 0,18 mm).

Im Vergleich zur mobil-starren Lagerung war die vertikale Resilienzbewegung im Schnitt um 0,05 mm erhöht.
Ein dickes Tegument und ein langer Sattel zeigten größere Resilienzwege.

3.2.1.2 Horizontale Pfeilerkräfte

Die horizontalen Pfeilerkräfte nahmen mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 20,3 und 28,73 N (Mittelwert 24,6 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 12,5 und 23,32 N (Mittelwert 17,96 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 12,06 und 22,22 N (Mittelwert 16,96 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 20,08 und 29,78 N (Mittelwert 24,73 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 11,4 und 20,64 N (Mittelwert 15,74 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 11,18 und 19,64 N (Mittelwert 15,47 N).

Die horizontale Pfeilerbelastung war bei dünnem und dickemTegument weitgehend identisch und erreichte bei kurzem Sattel mit fixiertem Verbindungselement die größten Werte.
Dagegen zeigte die Sattellänge bei nicht fixiertem Verbindungselement keine Auswirkung auf die horizontale Pfeilerbelastung.

3.2.1.3 Verformung der Sattelretention

Die Verformung der Sattelretention zeigte mit zunehmend distaler Sattelbelastung einen exponentiell abfallenden Verlauf.

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 7,9 und -2,72 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 18,45 und -0,9 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 1,53 und -4,6 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 18,45 und -0,9 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 16,54 und -0,73 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 15,85 und -0,89 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 4,03 und -3,71 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 18,45 und -1,38 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen -13,39 und -7,82 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 18,23 und -1,51 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 16,66 und -1,28 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 16,64 und -1,41 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention ergaben bei dünnem und dickem Tegument Werte in gleicher Größenordnung. Die Belastungsspitzen waren bei arretiertem bzw. nicht arretiertem Pfeiler und nicht fixiertem Verbindungselement stets größer als bei fixiertem Verbindungselement.
Der kurze Sattel mit fixiertem Verbindungselement erbrachte die kleinsten Verformungskräfte.

3.2.2 Kunststofffutterteleskop kurz

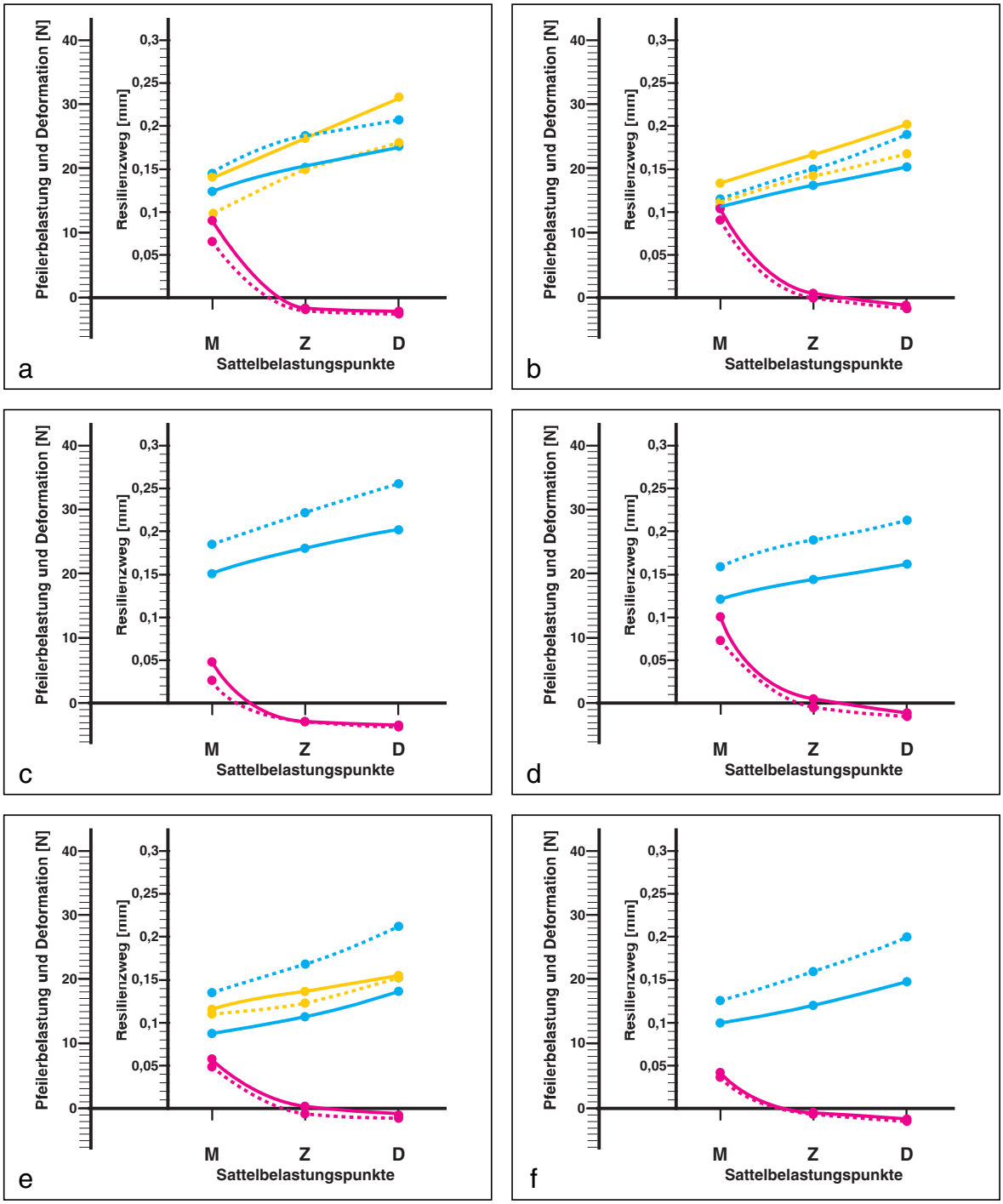

Abb. 14: Lagerung Teleskopanalog kurz: immobil-starr

(a) Sattel kurz und (e) Sattel lang, Pfeiler nicht arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(b) Sattel kurz, Pfeiler nicht arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
(c) Sattel kurz und (f) Sattel lang, Pfeiler arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(d) Sattel kurz, Pfeiler arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
Resilienzweg Prothesensattel (blau) [mm], horizontale Pfeilerkräfte (gelb) [N] und Deformation Sattelretention (rot) [N] bei mesialer (M), zentraler (Z) und distaler (D) Sattelbelastung. Lagertegument 1 mm (–), Lagertegument 2 mm (--).

3. ERGEBNISSE

3.2.2.1 Vertikale Resilienzbewegung

Die vertikale Resilienzbewegung der Freiendsättel nahm mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,13 und 0,18 mm (Mittelwert 0,15 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,15 mm (Mittelwert 0,13 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,15 und 0,2 mm (Mittelwert 0,18 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,12 und 0,16 mm (Mittelwert 0,14 mm).

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,11 mm (Mittelwert 0,11 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,15 mm (Mittelwert 0,12 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,14 und 0,22 mm (Mittelwert 0,18 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,12 und 0,19 mm (Mittelwert 0,15 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,19 und 0,26 mm (Mittelwert 0,22 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,16 und 0,21 mm (Mittelwert 0,19 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,14 und 0,21 mm (Mittelwert 0,17 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,13 und 0,2 mm (Mittelwert 0,16 mm).

Im Vergleich zur Verankerung mit Kunststofffuttergeschiebe ergab sich eine Erhöhung der Resilienz um 0,03 mm, im Vergleich zur mobil-starren Lagerung eine Erhöhung um 0,08 mm.
Das dicke Tegument ergab im Vergleich zum dünnen Tegument eine erhöhte Resilienzbewegung.
Ein kurzer Sattel bewirkte im Vergleich zum langen Sattel einen geringfügig größeren Resilienzweg.

3.2.2.2 Horizontale Pfeilerkräfte

Die horizontalen Pfeilerkräfte nahmen mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 18,98 und 31,35 N (Mittelwert 25,11 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 17,96 und 26,91 N (Mittelwert 22,36 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 15,5 und 20,84 N (Mittelwert 18,2 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 13,18 und 24,22 N (Mittelwert 19,15 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 15,06 und 22,44 N (Mittelwert 18,84 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 13,86 und 20,52 N (Mittelwert 17 N).

Im Vergleich zum Kunststofffuttergeschiebe ergab sich insgesamt eine um 0,86 N erhöhte horizontale Pfeilerbelastung.
Bei kurzem Sattel ergaben sich größere Werte als bei langem Sattel. Die höchsten horizontale Pfeilerkräfte entstanden bei kurzem Sattel und fixiertem Verbindungselement.
Ein dünnes Tegument bewirkte eine größere horizontale Pfeilerbelastung.

3.2.2.3 Verformung der Sattelretention

Die Verformung der Sattelretention zeigte mit zunehmend distaler Sattelbelastung einen exponentiell abfallenden Verlauf.

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 11,85 und -2,1 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 14,3 und -1,1 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 6,3 und -3,38 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 13,33 und -1,49 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 7,8 und -1,06 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 5,4 und -1,52 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 8,87 und -2,6 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 12,2 und -1,63 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 3,4 und -3,78 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 9,87 und -2,21 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 6,7 und -1,54 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 4,8 und -1,99 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention zeigten bei dünnem und dickem Tegument Werte gleicher Größenordnung.
Sie erreichten bei kurzem Sattel im Vergleich zum langen Sattel eine Verdoppelung der Belastungsspitzen.

3.2.3 Kunststofffutterteleskop lang

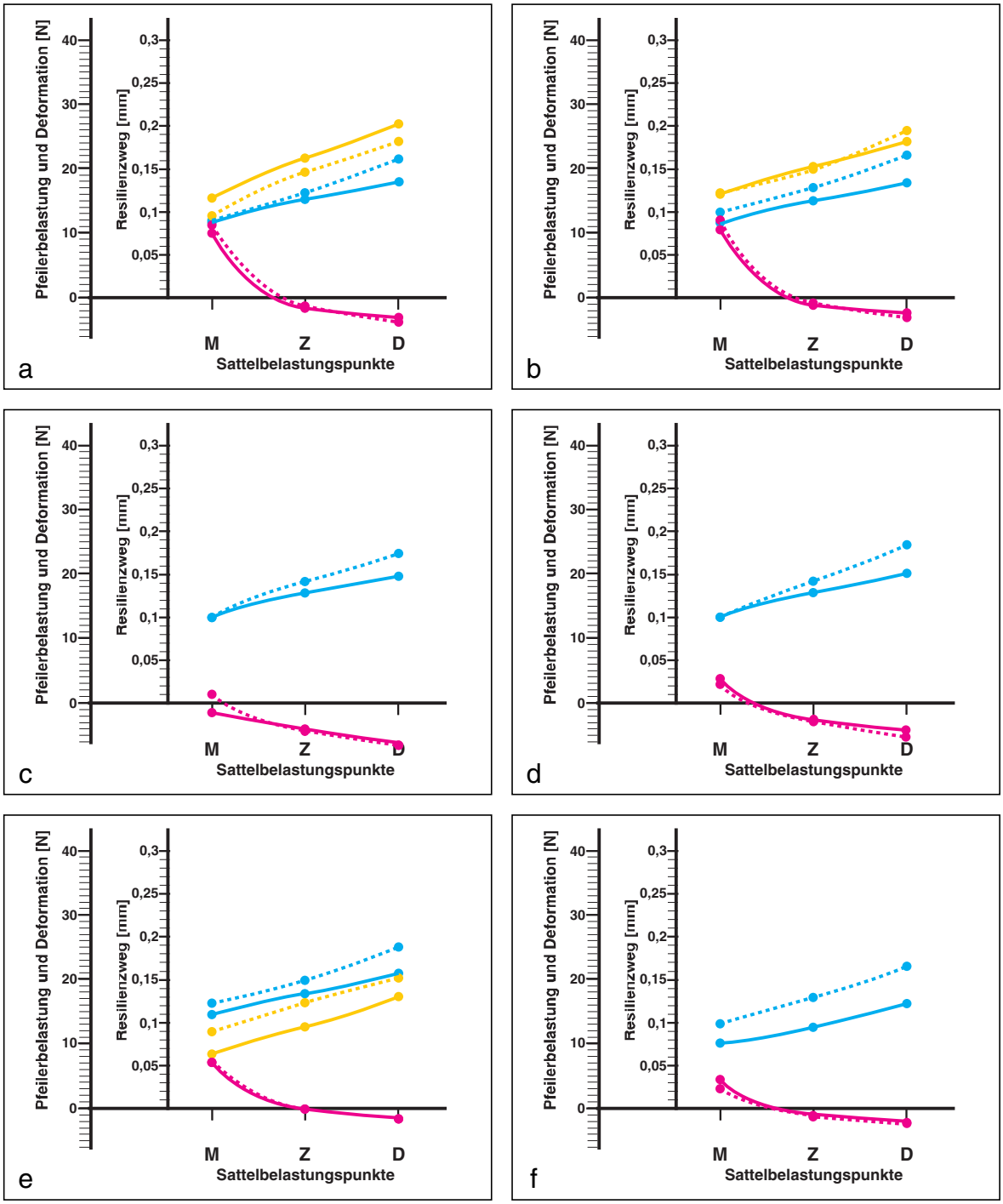

Abb. 15: Lagerung Teleskopanalog lang: immobil-starr

(a) Sattel kurz und (e) Sattel lang, Pfeiler nicht arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(b) Sattel kurz, Pfeiler nicht arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
(c) Sattel kurz und (f) Sattel lang, Pfeiler arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(d) Sattel kurz, Pfeiler arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
Resilienzweg Prothesensattel (blau) [mm], horizontale Pfeilerkräfte (gelb) [N] und Deformation Sattelretention (rot) [N] bei mesialer (M), zentraler (Z) und distaler (D) Sattelbelastung. Lagertegument 1 mm (–), Lagertegument 2 mm (--).

3. ERGEBNISSE

3.2.3.1 Vertikale Resilienzbewegung

Die vertikale Resilienzbewegung der Freiendsättel nahm mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,13 mm (Mittelwert 0,11 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,14 mm (Mittelwert 0,11 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,15 mm, (Mittelwert 0,13 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,15 mm (Mittelwert 0,13 mm).

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,16 mm (Mittelwert 0,13 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,08 und 0,12 mm (Mittelwert 0,1 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,16 mm (Mittelwert 0,13 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,17 mm (Mittelwert 0,13 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,18 mm, (Mittelwert 0,14 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,18 mm (Mittelwert 0,14 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,12 und 0,19 mm (Mittelwert 0,15 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,17 mm (Mittelwert 0,13 mm).

Im Vergleich zum Kunststofffutterteleskop kurz ergab sich eine um 0,03 mm erniedrigte vertikale Resilienzbewegung, welche in etwa der des Kunststofffuttergeschiebes gleich kommt.
Das dicke Tegument zeigte verglichen mit dem dünnen Tegument eine vergrößerte Resilienz.
Die Sattellänge zeigte auf die vertikale Resilienzbewegung keine signifikante Auswirkung.

3.2.3.2 Horizontale Pfeilerkräfte

Die horizontalen Pfeilerkräfte nahmen mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 15,6 und 26,9 N (Mittelwert 21,4 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 16,18 und 24,56 N (Mittelwert 20,38 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 8,4 und 17,4 N (Mittelwert 12,88 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 12,84 und 24,34 N (Mittelwert 18,86 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 16,52 und 26 N (Mittelwert 20,88 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 12,06 und 20,34 N (Mittelwert 16,26 N).

Im Vergleich zum Kunststofffutterteleskop kurz ergab sich eine um 2 N geringere horizontale Pfeilerbelastung.
Das dicke Tegument zeigte im Vergleich zum dünnen Tegument bei horizontaler Pfeilerbelastung größere Werte.
Der kurze Sattel ergab im Vergleich zum langen Sattel eine deutlich größere horizontale Pfeilerbelastung.
Der kurze Sattel zeigte mit fixiertem Verbindungselement die größten Werte.

3.2.3.3 Verformung der Sattelretention

Die Verformung der Sattelretention zeigte mit zunehmend distaler Sattelbelastung einen exponentiell abfallenden Verlauf.

Die Verformung der Sattelretention bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 9,99 und -3,03 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 10,64 und -2,34 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen -0,16 und -6,76 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 3,83 und -4,18 N.

Die Verformung der Sattelretention bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 7,27 und -1,42 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 4,52 und -2,14 N.

Die Verformung der Sattelretention bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 11,55 und -3,95 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 12,1 und -2,99 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 1,16 und -6,48 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 2,82 und -5,34 N.

Die Verformung der Sattelretention bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 7,37 und -1,44 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 3,1 und -2,27 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention ergaben bei dünnem und dickem Lagertegument Werte gleicher Größenordnung und erreichten für den kurzen Sattel mit nicht arretiertem Pfeiler die größten Werte.
Bei kurzem Sattel mit arretiertem Pfeiler und bei langem Sattel waren deutlich geringere Verformungskräfte gegeben.

3.2.4 Kunststofffutterteleskop lang - Retentionssteg hoch

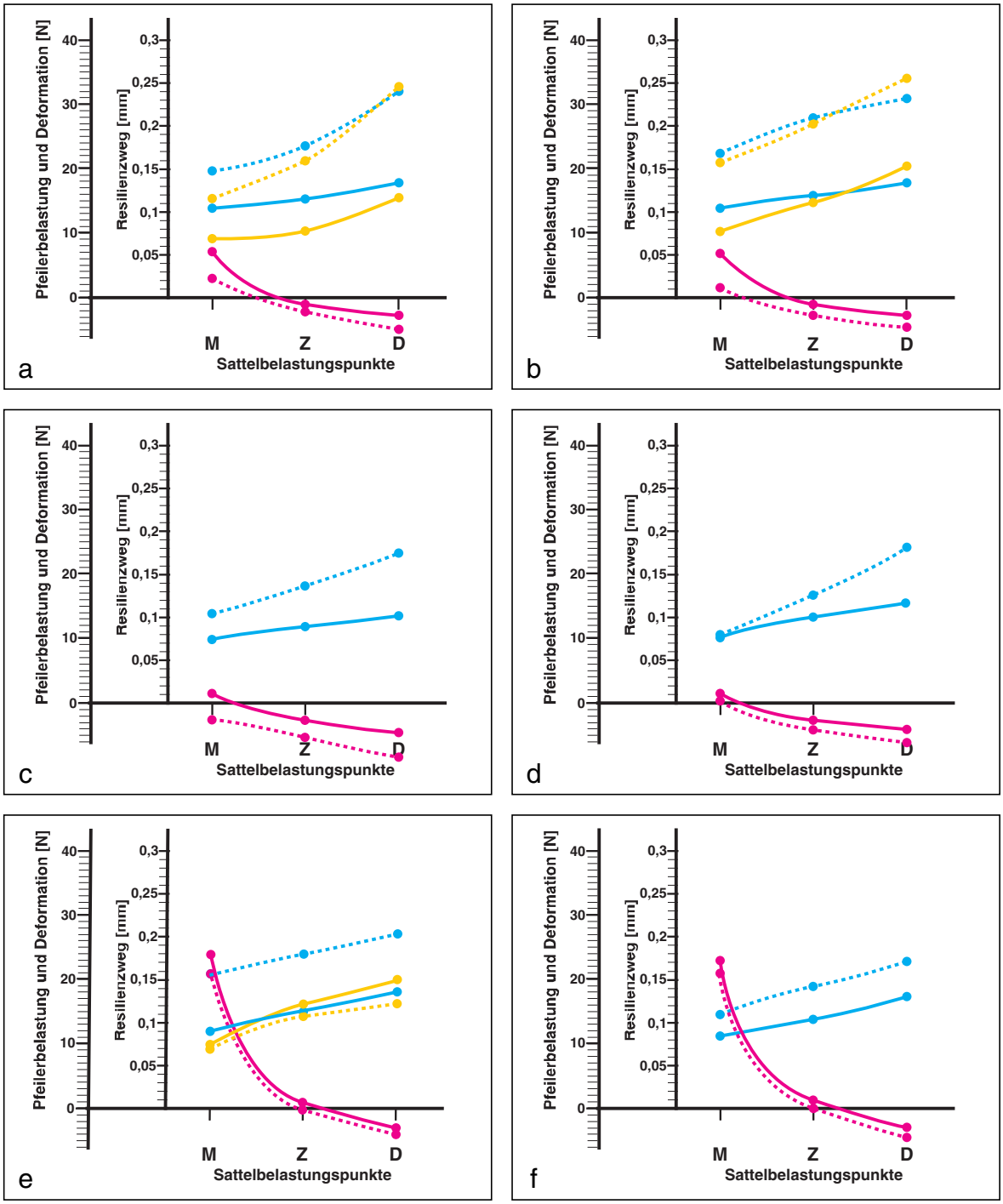

Abb. 16: Lagerung Teleskopanalog lang und Retentionssteg hoch: immobil-starr

(a) Sattel kurz und (e) Sattel lang, Pfeiler nicht arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(b) Sattel kurz, Pfeiler nicht arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
(c) Sattel kurz und (f) Sattel lang, Pfeiler arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(d) Sattel kurz, Pfeiler arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
Resilienzweg Prothesensattel (blau) [mm], horizontale Pfeilerkräfte (gelb) [N] und Deformation Sattelretention (rot) [N] bei mesialer (M), zentraler (Z) und distaler (D) Sattelbelastung. Lagertegument 1 mm (–), Lagertegument 2 mm (--).

3. ERGEBNISSE

3.2.4.1 Vertikale Resilienzbewegung

Die vertikale Resilienzbewegung der Freiendsättel nahm mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,14 mm (Mittelwert 0,12 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,14 mm (Mittelwert 0,12 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,07 und 0,1 mm (Mittelwert 0,09 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,08 und 0,12 mm (Mittelwert 0,1 mm).

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,14 mm (Mittelwert 0,11 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,13 mm (Mittelwert 0,11 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,15 und 0,24 mm (Mittelwert 0,19 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,17 und 0,23 mm (Mittelwert 0,2 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,17 mm (Mittelwert 0,14 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,08 und 0,18 mm (Mittelwert 0,13 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,16 und 0,2 mm (Mittelwert 0,18 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,17 mm (Mittelwert 0,14 mm).

Im Vergleich zum Kunststofffutterteleskop lang ergab sich eine um 0,1 mm erhöhte vertikale Resilienzbewegung.
Das dicke Tegument zeigte im Vergleich zum dünnen Tegument eine deutlich erhöhte Resilienz.
Die Sattellänge zeigte auf die vertikale Resilienzbewegung nahezu keine Auswirkung.

3.2.4.2 Horizontale Pfeilerkräfte

Die horizontalen Pfeilerkräfte nahmen mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 9,18 und 15,52 N (Mittelwert 11,66 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 10,62 und 20,62 N (Mittelwert 15,44 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 10,06 und 19,98 N (Mittelwert 15,4 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 15,5 und 33,32 N (Mittelwert 23,46 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 21,16 und 34,22 N (Mittelwert 27,64 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 9,28 und 16,4 N (Mittelwert 13,28 N).

Im Vergleich zum Kunststofffutterteleskop lang ergab sich eine um 0,54 N geringere horizontale Pfeilerbelastung.
Ein dickes Tegument zeigte eine deutlich größere horizontale Pfeilerbelastung.
Bei kurzem Sattel und insbesondere dickem Tegument ergaben sich größere Werte als bei langem Sattel.
Die größten horizontalen Pfeilerkräfte zeigten sich bei kurzem Sattel mit nicht fixiertem Verbindungselement.

3.2.4.3 Verformung der Sattelretention

Die Verformung der Sattelretention zeigte mit zunehmend distaler Sattelbelastung einen exponentiell abfallenden Verlauf.

Die Verformung der Sattelretention bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 7 und -2,66 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 7 und -2,53 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 1,5 und -4,66 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 1,5 und -3,99 N.

Die Verformung der Sattelretention bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 24 und -3 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 23 und -3 N.

Die Verformung der Sattelretention bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 3 und -4,93 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 1,5 und -4,52 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen -2,5 und -6,79 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,5 und -5,99 N.

Die Verformung der Sattelretention bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 21 und -4 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 21 und -4,4 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention zeigten bei dünnem und dickem Lagertegument Werte gleicher Größenordnung und ergaben für den langen Sattel die größten Belastungsspitzen.
Der kurze Sattel mit arretiertem Pfeiler bzw. nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zeigte kontinuierlich geringere Verformungskräfte.

3.2.5 Teleskop lang mit Acryl fixiert/Retentionssteg hoch

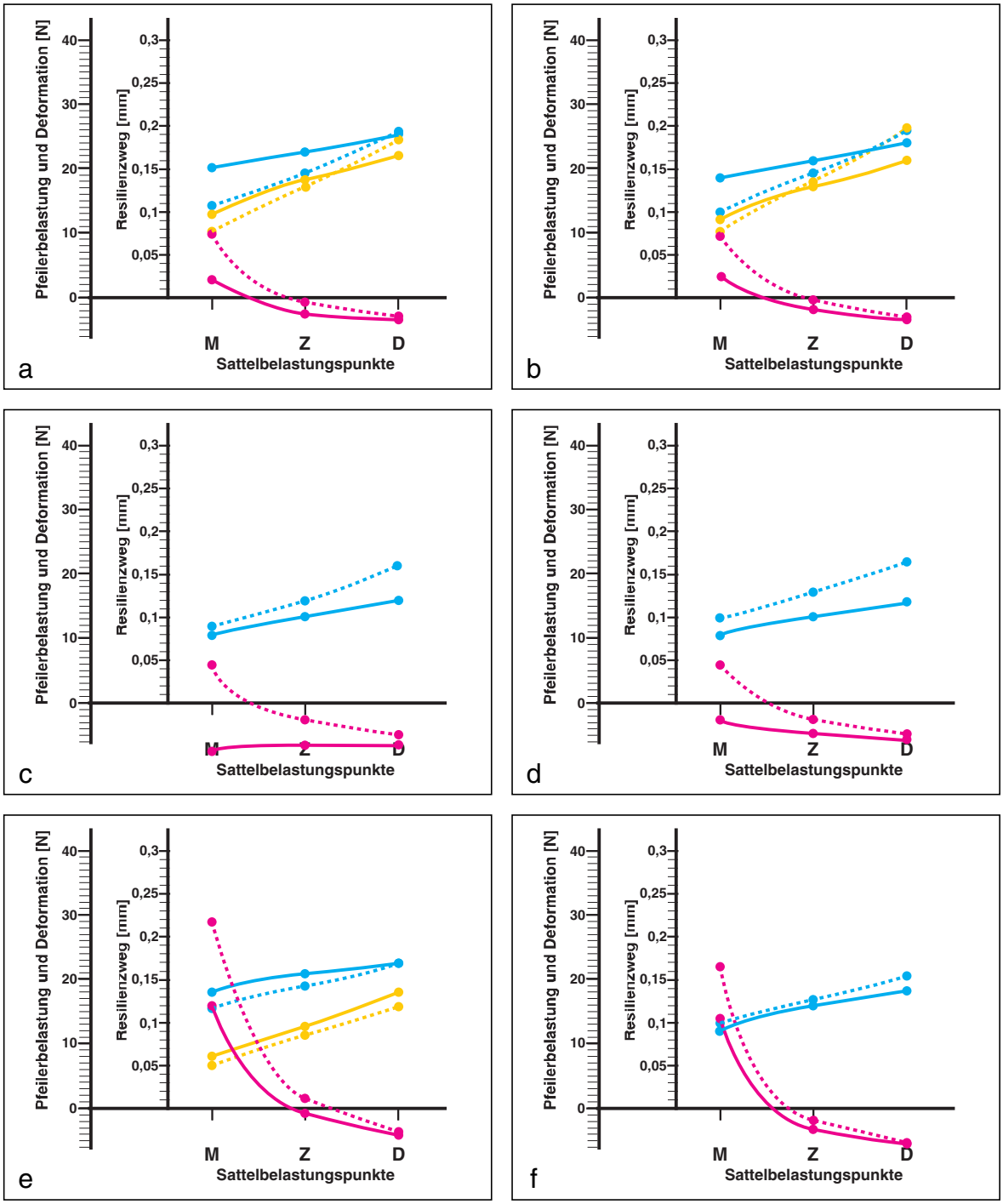

Abb. 17: Lagerung Teleskopanalog lang mit Acryl fixiert und Retentionssteg hoch: immobil-starr

(a) Sattel kurz und (e) Sattel lang, Pfeiler nicht arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(b) Sattel kurz, Pfeiler nicht arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
(c) Sattel kurz und (f) Sattel lang, Pfeiler arretiert mit fixiertem Verbindungselement;
(d) Sattel kurz, Pfeiler arretiert mit nicht fixiertem Verbindungselement;
Resilienzweg Prothesensattel (blau) [mm], horizontale Pfeilerkräfte (gelb) [N] und Deformation Sattelretention (rot) [N] bei mesialer (M), zentraler (Z) und distaler (D) Sattelbelastung. Lagertegument 1 mm (–), Lagertegument 2 mm (--).

3. ERGEBNISSE

3.2.5.1 Vertikale Resilienzbewegung

Die vertikale Resilienzbewegung der Freiendsättel nahm mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,15 und 0,19 mm (Mittelwert 0,17 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,14 und 0,18 mm (Mittelwert 0,16 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,08 und 0,12 mm (Mittelwert 0,1 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,08 und 0,12 mm (Mittelwert 0,1 mm).

Die Resilienzwerte des dünnen Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,14 und 0,17 mm (Mittelwert 0,15 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,14 mm (Mittelwert 0,12 mm),.

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,11 und 0,2 mm (Mittelwert 0,15 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,2 mm (Mittelwert 0,15 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,09 und 0,16 mm (Mittelwert 0,12 mm) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,17 mm (Mittelwert 0,13 mm).

Die Resilienzwerte des dicken Teguments mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,12 und 0,17 mm (Mittelwert 0,14 mm), bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 0,1 und 0,16 mm (Mittelwert 0,13 mm).

Im Vergleich zum Kunststofffutterteleskop lang (Retentionssteg hoch) ergab sich eine nahezu identische vertikale Resilienz.
Weder die Dicke des Teguments, noch die Sattellänge zeigten eine signifikante Auswirkung auf die vertikale Resilienzbewegung.

3.2.5.2 Horizontale Pfeilerkräfte

Die horizontalen Pfeilerkräfte nahmen mit zunehmend distaler Sattelbelastung linear zu.

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 13,08 und 22,21 N (Mittelwert 17,93 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 12,28 und 21,18 N (Mittelwert 16,91 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 8,18 und 18,04 N (Mittelwert 12,98 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 10,48 und 24,76 N (Mittelwert 17,64 N) bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 10,52 und 26,52 N (Mittelwert 18,27 N).

Die horizontalen Pfeilerkräfte bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 6,62 und 15,84 N (Mittelwert 11,28 N).

Im Vergleich zum Kunststofffutterteleskop lang (Retentionssteg hoch) ergab sich eine um 1,9 N, im Vergleich zum Kunststofffutterteleskop kurz eine um 4,4 N verringerte horizontale Pfeilerbelastung.
Belastungsunterschiede auf Grund der Tegumentbeschaffenheit konnten nicht festgestellt werden.
Der kurze Sattel zeigte im Vergleich zum langen Sattel eine deutlich größere horizontale Pfeilerbelastung.

3.2.5.3 Verformung der Sattelretention

Die Verformungskräfte der Sattelretention zeigten mit distaler Sattelbelastung einen exponentiell abfallenden Verlauf.

Die Verformungskäfte der Sattelretention bei dünnem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 3 und -3,59 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 3,5 und -3,33 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen -7 und -6,66 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 2,5 und -5,46 N.

Die Verformungskäfte der Sattelretention bei dünnem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 16 und -4,2, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 14 und -5,4 N.

Die Verformungskäfte der Sattelretention bei dickem Tegument mit kurzem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 10 und -2,93 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 9,5 und -3,01 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 6 und -4,93 N bzw. nicht fixiertem Verbindungselement zwischen 6 und -4,66 N.

Die Verformungskäfte der Sattelretention bei dickem Tegument mit langem Sattel variierten bei nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 29 und -3,8 N, bei arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zwischen 22 und -5,2 N.

Die Verformungskräfte der Sattelretention zeigten bei dünnem Lagertegument im Vergleich zum dicken Tegument geringere Werte und ergaben für den langen Sattel die größten Belastungsspitzen.
Der kurze Sattel mit arretiertem Pfeiler bzw. nicht arretiertem Pfeiler und fixiertem Verbindungselement zeigte kontinuierlich geringere Verformungskräfte.

4. DISKUSSION

Aus den Ergebnissen ging hervor, dass eine mobil-starre Lagerung bei mittlerer Belastung von 30 N (10) Resilienzwege erzeugte, die den Untersuchungsergebnissen von Richter (30) entsprachen. Dabei zeigte sich, dass ein dickes Tegument und/oder ein kurzer Sattel eine tiefere Satteleinlagerung zur Folge hatten.

Die immobil-starre Lagerung konnte auf Grund der im Vorfeld genannten Effekte hinsichtlich nicht fixiertem Verbindungselement nur mit kurzem Sattel bewertet werden. Eine Fixierung des Verbindungselementes erhöhte das Einsinkverhalten des Sattels in die Schleimhaut und korrelierte mit erhöhten Pfeilerkäften in horizontaler Richtung, gleichzeitig reduzierten sich dabei die Deformationskräfte der Sattelretention.

Die Arretierung des Pfeilers führte dazu, dass eine Tendenz zu erhöhter Schleimhautresilienz und eine deutliche Erhöhung der die Sattelretention deformierenden Käfte feststellbar war. Aus der Arretierung resultierten eine Vergrößerung der Resilienz um 0,05 mm und eine Vergrößerung der Deformationskräfte auf die Sattelretention. Die auf den Pfeiler einwirkenden Kräfte betrugen ca. 18 N.

Ein kurzer Sattel erhöhte tendenziell ebenfalls, analog der mobil-starren Lagerung, die Resilienz und verstärkte die horizontalen Kräfte auf den Pfeiler. Des weiteren wirkten bei kurzem Sattel größere Deformationskräfte auf die Sattelretention, solange der von Kraft (18) geforderte Querschnitt von 2x4 mm eingehalten wurde. Eine Vergrößerung des Querschnitts auf 2x8 mm hatte massive Deformationskräfte, vor allem bei mesialer Belastung des langen Sattels, zur Folge.

Die gemessenen Resilienzwerte variierten zwischen 0,04 und 0,35 mm und entsprachen somit den in der Literatur angegebenen Werten (18, 19, 34) bzw. lagen geringfügig darunter (14). Ein dünnes Tegument bewirkte eine deutlich geringere Resilienz mit gleichzeitig erhöhten horizontalen Pfeiler- und Deformationskräften der Sattelretention.

Der Belastungsort bewirkte bei zunehmend distaler Belastung einen linearen Anstieg der Schleimhautresilienz und der horizontalen Pfeilerkräfte sowie gleichzeitig einen exponentiell abfallenden Verlauf der Deformationskräfte auf die Sattelretention.
Allgemein ist es erforderlich, gemäß der Forderung von Körber und Kraft (17, 18), den Sattel über Bereiche gleicher Resilienz zu extendieren. Somit lassen sich hypomochlion-bedingte vertikal-extrusive Kräfte auf den Pfeilerzahn minimieren (21, 22, 23).

4. DISKUSSION

Die in der Arbeit angewandten Belastungsgrößen von alternierend 10-50 N entsprachen den in der Literatur vorgeschlagenen Werten (5, 7, 21). Eine Erhöhung der Lastapplikation führte jeweils zu einer Erhöhung der Resilienz der horizontalen Pfeilerkräfte und der auf die Sattelretention einwirkenden Deformationskräfte.
Grundsätzlich ergaben sich bezüglich Verbindungselementen bei Kunststofffuttergeschieben ähnliche Effekte wie bei kurzen Kunststofffutterteleskopen, wobei die Lastverteilung bei Kunststofffuttergeschieben insgesamt geringer war.

Das lange Kunststofffutterteleskop mit einem Querschnitt der Sattelretention von 2x4 mm erreichte bezüglich der Resilienzbewegung des Sattels und den horizontalen Pfeilerkräften Kraftspitzen, die den Werten eines Kunststofffuttergeschiebes entsprachen. Außerdem ergaben sich kleinere Deformationskräfte der Sattelretention.

Eine Vergrößerung des Querschnitts der Sattelretention von 2x4 auf 2x8 mm führte zu einer deutlichen Erhöhung der Resilienzbewegung, der horizontalen Pfeilerkräfte und vor allem bei langem Sattel zu verstärkter Deformation der Sattelretention. Der Einsatz eines Kunststofffutters (Acrylfutter, PalaPress) in Verbindung mit einem langen Teleskop und einer vergrößerten Sattelretention reduzierte die Belastungen aller Messparameter nur unwesentlich. Dies bedeutet, dass das ursprünglich als rigide angedachte Verbindungselement nicht den alles entscheidenden Einfluss auf die jeweiligen Belastungen hatte. Vielmehr erscheinen mikromechanische Freiheitsgrade des Verbindungselements und Querschnitt der Sattelretention als Instrumente der Wahl, um die auftretenden Hebelkräfte auf eine physiologische Größe absenken zu können.
Nach Überprüfung der untersuchten Versuchskombinationen zeigte das Kunststofffutterteleskop lang in Verbindung mit einer Sattelretention von 2x4 mm Belastungsgrößen, welche einer physiologischen Pfeilerbelastung am Nächsten kommen. Insbesondere die schädlichen horizontal wirksamen Kräfte konnten mit dieser Kombination am wirkungsvollsten, wenn auch nicht ganz, unterbunden werden. Vertikal-extrusive Kräfte auf den Pfeilerzahn lassen sich durch Ausdehnung des Sattels über Bereiche gleicher Resilienz und Verkürzung der Zahnreihe umgehen.

4. DISKUSSION

Allgemeine Fehlerdiskussion:

Bei der kritischen Betrachtung der Arbeit sind gewisse Fehlerquellen nicht auszuschließen.
Es können geringfügige Kalibrier-, Ablese- und Umrechnungsfehler enthalten sein.
Des Weiteren wurde bei den Versuchen auf Speichel bzw. Kunstspeichel bewusst verzichtet, da für eine realitätsnahe Anwendung ein enormer technischer Aufwand notwendig gewesen wäre.
Unklar bleibt auch, inwieweit die als starr vorausgesetzte Lötverbindung zwischen Matrize und Sattelretention einer messtechnisch nicht abgreifbaren Deformation unterworfen war.
Unter anderem sollten Versuche mit Kunststofffutterteleskopen, bei denen Polyoxymethylen zur Anwendung kommt, bei Mundtemperatur durchgeführt werden, da das E-Modul von Polyoxymethylen stark temperaturabhängig ist.
Eine Finite-Elemente Studie könnte Aufschluss geben, wie sich unter Einsatz der hier vorgestellten Kunststofffutter die horizontale und vertikale Belastungsverteilung im Kieferknochen auswirkt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Mit einem den natürlichen Gegebenheiten nachgebildeten Phantommodell einer einseitigen Freiendsituation mit anteriorem Prothesenpfeiler wurden die Resilienzbewegung von Prothesensätteln, die auf den Prothesenpfeiler wirkenden horizontalen Kräfte sowie die Verformungskräfte der Sattelretention in Abhängigkeit von Sattellänge (kurz, lang), Schleimhautdicke (1 und 2 Millimeter [mm]), Belastungsort (mesial, zentral, distal) und Belastungsgröße (10, 20, 30, 40, 50 Newton [N]), Freiheitsgraden, Lagesicherung der Verbindungselemente und Wahl der Verbindungselementen (mobil-starr: Scharniergelenk; immobil-starr: Kunststoff-futtergeschiebe, Kunststofffutterteleskop kurz, lang) untersucht.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass eine zunehmend distale Sattelbelastung von 30 N zu einem linearen Anstieg der Resilienzbewegung des Prothesensattels und der horizontalen Pfeilerkräfte bei gleichzeitig exponentiell abfallenden Deformationskräften der Sattelretention führt.

Ein dünnes Tegument (0,11 mm / 0,12 mm) bewirkt eine geringere Resilienz-bewegung des Sattels als ein dickes Tegument (0,15 mm / 0,16 mm).
Der lange Sattel (0,11 mm / 0,16 mm) zeigt in etwa dieselbe Resilienzbewegung wie der kurze Sattel (0,12 mm / 0,15 mm).
Die mobil-starre Lagerung eines langen Sattels (0,10 mm / 0,15 mm) und eines kurzen Sattels (0,12 mm / 0,15 mm) ergibt annähernd die gleichen Werte für die Resilienzbewegung, wie die immobil-starre Lagerung eines langen Sattels (0,11 mm / 0,16 mm) und eines kurzen Sattels (0,12 mm / 0,15 mm).

Die horizontale Pfeilerbelastung bei fixiertem Verbindungselement und arretiertem sowie nicht arretiertem Prothesenpfeiler ist bei langem Sattel (15,3 N /14,7 N) deutlich geringer als bei kurzem Sattel (20,4 N / 20,8 N). Sie erreicht bei dünnem Tegument (15,3 N / 20,4) fast dieselben Werte wie bei dickem Tegument (14,7 N / 20,8 N).

Die Verformungskräfte der Sattelretention bei arretiertem Prothesenpfeiler und fixiertem Verbindungselement sind bei kurzem Sattel mit dünnem Tegument (mesial 6,7 N / distal -3,3 N) in etwa gleich groß wie bei kurzem Sattel mit dickem Tegument (mesial 6,4 N / distal -4 N). Bei langem Sattel mit dünnem Tegument (mesial 13,4 N / distal -2,3 N) ergeben sich ähnliche Werte wie bei langem Sattel mit dickem Tegument (mesial 14,8 N / distal -2,7 N).
Es entstehen bei langem Sattel, unabhängig von der Dicke des Schleimhaut-teguments, mehr als doppelt so große Verformungskräfte wie bei kurzem Sattel.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse zeigen, dass die Resilienzbewegung des Sattels unter Verwendung von Verbindungselementen der immobil-starren Lagerung infolge der Deformation der Sattelretention praktisch der Verwendung von Verbindungselementen der mobil-starren Lagerung gleichzusetzen ist.

Im Gegensatz zur mobil-starren Lagerung treten jedoch horizontale Pfeilerkräfte mit Spitzenwerten bis 30 N auf, die bei natürlichen Pfeilerzähnen zu einer Steigerung der parodontalen Beweglichkeit führen, deren Folgen für starr im Knochen fixierte Implantatpfeiler jedoch noch nicht absehbar sind.

Da auch mundbeständige Kunststofffutter keine Dämpfung der horizontalen Pfeilerbelastung zeigen, sollten zur Lagerung von Freiendsätteln entweder Kunststofffuttergeschiebe mit mikromechanischen, rotativen Freiheitsgraden oder Verbindungselemente der mobil-starren Lagerung Anwendung finden.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. Assif, D., Marshak, B., Horowitz, A.: Analyses of load transfer and stress distribution by an implant-supported fixed partial denture.
   J. Prosth. Dent. 75: 285-291 (1996)

2. Besimo, Ch.E., Graber, G., Schaffner, Th.: Hybridprothetische implantatgetragene Suprastrukturen im zahnlosen Unterkiefer.
   ZWR 100: 12-18 (1991)

3. Budo, A.: Theoretische Mechanik. Rompe, R., Schmutzer, E. (Hrsg) Hochschulbücher für Physik, Bd 25, 11. Aufl, Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin, S. 378-384 (1987)

4. Dietmann, H.: Einführung in die Elastizitäts- und Festigkeitslehre. Dietmann, H. (Hrsg) 3. Aufl, Alfred Kröner Verlag, S. 34-49 (1992)

5. Dortenmann, A.: Untersuchung zur Sattelkinematik der zahnärztlichen Freiendprothese für die Gruppe B1 und B2 (Tübinger Einteilung).
   Med Dissertation, Universität Tübingen (1992)

6. El Charkawi, H.G., El Wakad, M.T., Naser, M.E.: Modification of osseointegrated implants for distal-extension prostheses.
   J. Prosth. Dent. 64: 469-472 (1990)

7. El Charkawi, H.G., Zekry, K.A., El Wakad, M.T.: Stress analysis of different osseointegrated implants supporting a distal extension prosthesis.
   J. Prosth. Dent. 72: 614-623 (1994)

8. Erfle, A.: Eine mobilitätsadaptive Suprakonstruktion für das Tübinger Implantat.
   Med Dissertation, Tübingen (1989)

9. Fuhrmann, G., Kirsch, A., Sauer, G., Strunz, V.: Festigkeit und elastisches Verhalten von unterschiedlichen Stoßdämpfungselementen in IMZ-Implantaten.
   Dtsch. Zahnärztl. Z. 38: 123-125 (1983)

10. Gibbs, C.H., Mahan, P.E., Lundeen, H.C., Brehnan, K., Walsh, E.K., Holbrook, W.B.: Occlusal forces during chewing and swallowing as measured by sound transmission.
    J. Prosth. Dent. 46: 443-449 (1981)

6. LITERATURVERZEICHNIS

11. Greitmann, T.: Sattelkinematik der Freiendprothese für die Gruppen B1 und B2 (Tübinger Einteilung).
    Med Dissertation, Tübingen (1992)

12. Grysko, S.: Untersuchungen über die Statik von Unterkieferfreiendprothesen unter besonderer Berücksichtigung des konstruktiven Aufbaus von Klammern und Verbindungselementen.
    Med Dissertation, Düsseldorf (1980)

13. Hartmann, H.J.: Implantation im zahnlosen Unterkiefer.
    ZWR 99: 886-889 (1990)

14. Jung, T., Borchers, L.: Experimentelle Studie über mechanische Eigenschaften von Präzisionsverbindungen.
    Dtsch. Zahnärztl. Z. 38: 986-989 (1983)

15. Karl, M., Winter, W., Graef, F., Wichmann, M.G., Heckmann, S.M.: Spannungsentwicklung 5-gliedriger Implantatbrücken.
    ZWR 112: 499-507 (2003)

16. Körber, K.H.: Prothesenkonstruktion und Pfeilerparodont – Elektronisch-meßtechnische Untersuchungen.
    Dtsch. Zahnärztl. Z. 25: 826-829 (1970)

17. Körber, K.H.: Dynamischer Mechanismus von Parodontium und Gewebsstrukturen unter herausnehmbarem Zahnersatz.
    Dtsch. Zahnärztl. Z. 38: 975-985 (1983)

18. Kraft, J.: Zur Frage der Abstützung von Freiendprothesen bei unilateralem Restzahnbestand – Pfeilerkinetik und Lagerbelastung.
    Med Habilitationsschrift, Universität Erlangen - Nürnberg (1989)

19. Krämer, A., Weber, H.: Der Einfluß der Lagerungsform auf Implantat und Pfeilerzahn bei der Verbundbrücke.
    Dtsch. Zahnärztl. Z. 10: 686-688 (1991)

20. Lill, W., Rambousek-Sperl, K., Matejka, M., Watzek, G.: Dämpfungsausmaß implantatgetragener Suprakonstruktionen bei horizontalen und vertikalen Kaukräften.
    Z. Zahnärztl. Implantol.: 183-187 (1987)

6. LITERATURVERZEICHNIS

21. Ludwig, P.: Kinematik und Belastungsverteilung abgestützter Freiendprothesen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 31: 547-552 (1976)

22. Ludwig, P.: Kinematik und Belastungsverteilung abgestützter Freiendprothesen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 34: 251-256 (1979)

23. Ludwig, P.: Kinematik und Belastungsverteilung abgestützter Freiendprothesen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 34: 257-259 (1979)

24. Mericske - Stern, R., Assal, P., Buerin, W.: Simultaneous force measuements in 3 dimensions on oral endosseus implants in vitro and in vivo. Clin. Oral. Impl. Res. 7: 378-386 (1996)

25. Mericske - Stern, R., Piotti, M., Sirtes, G.: 3-D in vivo force measurements on mandibular implants supporting overdentures. Clin. Oral. Impl. Res. 7: 387-396 (1996)

26. Monteith, B.D.: Management of loading forces on mandibular distal-extension prostheses. Part 1. Evaluation of concepts for design. J. Prosth. Dent. 52: 673-681 (1984)

27. Ney, Th.: Zur Kinematik von Implantaten und natürlichen Zähnen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 42: 1039-1044 (1987)

28. Nishimura, R.D., Ochiai, K.T., Caputo, A.A., Jeong, C.M.: Photoelastic stress analysis of load transfer to implants and natural teeth comparing rigid and semirigid connectors. J. Prosth. Dent. 81: 696-703 (1999)

29. Rehm, H., Körber, E., Körber, K.H.: Biophysikalischer Beitrag zur Problematik starr abgestützter Freiendprothesen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 17: 963-975 (1962)

30. Richter, E.-J., Hertel, R.C.: Das intramobile Element des IMZ-Systems in der mechanischen Prüfung. Z. Zahnärztl. Implantol. 3: 236-241 (1987)

31. van Rossen, I.P., Braak, L.H., de Putter, C., de Groot, K.: Stress-absorbing elements in dental implants. J. Prosth. Dent. 64: 198-205 (1990)

6. LITERATURVERZEICHNIS

32. Schreiber, S.: Untersuchungen über die Belastbarkeit des Prothesenlagers. Dtsch. Zahnärztl. Z. 16: 103-108 (1961)

33. Schreiber, S., Motsch, A., Grönewald, J.: Statik des Alveolarfortsatzes. Dtsch. Zahnärztl. Z. 25: 36-47 (1970)

34. Wöstmann, B., Rasche, K.R., van Benthem, H.: Die Attachments des IMZ-Systems in der Totalprothetik. Dtsch. Zahnärztl. Z. 46: 682-685 (1991)

7. ANHANG

7.1 Tabellen

7.1.1 Tabellen Einzelmesswerte

Tab. 1: Sattellagerung mobil-starr: Scharniergelenk (Einzelmesswerte)

	M					*Z*					*D*				
Dynamometer [N]	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
Sattel kurz / Tegument 1mm															
Resilienz [mm]	0,08	0,09	0,1	0,12	0,125	0,09	0,11	0,125	0,13	0,14	0,1	0,12	0,13	0,14	0,16
Sattel kurz / Tegument 2mm															
Resilienz [mm]	0,055	0,085	0,12	0,135	0,165	0,07	0,13	0,165	0,19	0,215	0,095	0,16	0,2	0,22	0,26
Sattel lang / Tegument 1mm															
Resilienz [mm]	0,05	0,07	0,09	0,095	0,1	0,06	0,09	0,1	0,12	0,125	0,07	0,1	0,12	0,13	0,15
Sattel lang / Tegument 2mm															
Resilienz [mm]	0,085	0,11	0,13	0,14	0,16	0,1	0,13	0,16	0,175	0,19	0,12	0,16	0,19	0,2	0,22

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen den Einzelmesswerten von 10-50 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter

7. ANHANG

Tab. 2: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffuttergeschiebe (Einzelmesswerte)

	M					Z					D				
Dynamometer [N]	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,095	0,12	0,13	0,14	0,085	0,125	0,14	0,16	0,17	0,1	0,135	0,16	0,175	0,20
Wägezelle [N]	10	17,2	22,2	24,4	27,7	12,7	20,5	26,6	30	34,6	16,6	24,4	30,27	34,6	37,8
DMS [N]	-2,5	0	11,4	13,8	16,8	-2,3	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,4	-2,6	-2,8	-2,8	-3
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,095	0,12	0,13	0,14	0,09	0,13	0,15	0,165	0,17	0,11	0,15	0,17	0,18	0,205
Wägezelle [N]	6,1	9,4	12,7	15,5	18,8	10	15,5	18,8	21,6	24,4	11,6	19,4	24,4	28,8	32,4
DMS [N]	5	12,85	17,6	25	31,8	0	0,38	2,3	3,46	4,6	-0,65	-0,65	-0,86	-1,08	-1,3
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,04	0,06	0,09	0,12	0,13	0,06	0,10	0,13	0,14	0,16	0,085	0,125	0,14	0,17	0,18
DMS [N]	-2,5	-2,5	-1,25	2,5	11,4	-3,8	-4,6	-5	-5,38	-5,38	-3,26	-4,13	-4,78	-5,2	-5,65
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,09	0,10	0,12	0,13	0,08	0,11	0,135	0,15	0,16	0,095	0,13	0,16	0,17	0,19
DMS [N]	5	12,85	17,6	25	31,8	0	0,76	2,3	3,46	4,2	-0,65	-0,65	-0,86	-1,08	-1,3
Sattel kurz / Tegument 2 mm /mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,09	0,12	0,13	0,14	0,085	0,12	0,14	0,16	0,18	0,095	0,135	0,17	0,20	0,24
Wägezelle [N]	10	16,6	21,1	23,3	29,4	13,3	19,4	25	29,4	34,6	15,5	23,3	30	34,6	45,5
DMS [N]	-3,75	-3,75	1,25	11,4	15	-3,07	-3,07	-3,07	-3,46	-3,46	-2,39	-3,0	-3,69	-4,34	-5,16
Sattel kurz / Tegument 2 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,07	0,09	0,11	0,125	0,135	0,08	0,12	0,135	0,16	0,175	0,10	0,14	0,175	0,2	0,23
Wägezelle [N]	5	7,7	12,2	14,4	17,7	7,7	12,2	15	18,8	22,2	9,4	15,5	23,3	25	30
DMS [N]	5	12,85	17,6	25	31,8	-0,38	1,15	1,53	1,53	3,07	-0,65	-0,86	-1,3	-1,73	-2,39
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,095	0,14	0,17	0,18	0,20	0,125	0,17	0,2	0,22	0,25	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29
DMS [N]	-12,85	-12,69	-13,8	-13,8	-13,8	-6,9	-7,6	-7,6	-7,9	-7,9	-5,2	-6,3	-8,42	-9,2	-10
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,09	0,10	0,13	0,135	0,15	0,1	0,135	0,16	0,17	0,20	0,12	0,16	0,19	0,215	0,25
DMS [N]	5	12,85	17,6	25	30,68	-0,38	0	1,15	1,53	2,69	-0,86	-1,3	-1,52	-1,73	-2,17
Sattel lang / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,05	0,08	0,09	0,10	0,11	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,085	0,12	0,14	0,165	0,18
Wägezelle [N]	7,2	10,5	12,7	14,4	15,5	8,3	13,3	17,7	20	23,8	11,1	16,6	24,4	27,7	31,3
DMS [N]	6	10,9	16,6	22,5	26,7	0,31	1,25	1,87	2,5	3,4	-0,16	-0,48	-0,8	-0,96	-1,29
Sattel lang / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,09	0,10	0,12	0,13	0,085	0,11	0,13	0,14	0,16	0,095	0,13	0,16	0,17	0,19
DMS [N]	5	10,9	15,8	21,7	25,86	0,31	1,25	1,87	2,5	3,4	-0,32	-0,64	-0,96	-1,12	-1,45
Sattel lang / Tegument 2 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,10	0,13	0,16	0,17	0,18	0,13	0,165	0,2	0,21	0,22	0,14	0,18	0,22	0,245	0,26
Wägezelle [N]	6,6	8,8	12,2	13,3	15	8,8	12,7	16,6	18,8	21,1	11,1	16,6	21,1	23,3	26,1
DMS [N]	5	10,9	16,6	23,2	27,58	0	0,62	1,56	2,18	3,12	-0,64	-0,96	-1,29	-1,61	-1,93
Sattel lang / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,095	0,135	0,16	0,175	0,19	0,13	0,17	0,19	0,21	0,22	0,16	0,19	0,22	0,25	0,265
DMS [N]	4	10,9	16,6	24,1	27,58	-0,31	0,31	1,25	2,18	3,12	-0,64	-1,12	-1,45	-1,77	-2,09

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen den Einzelmesswerten von 10-50 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

Tab. 3: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffutterteleskop kurz (Einzelmesswerte)

	M					Z					D				
Dynamometer [N]	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,085	0,12	0,13	0,14	0,15	0,1	0,135	0,165	0,175	0,19	0,12	0,16	0,18	0,21	0,225
Wägezelle [N]	11,1	16,6	20	22,2	25	14,4	21,1	26,1	30	33,51	16,6	25,5	31,35	37,8	45,5
DMS [N]	-1	5	12	17,39	25,86	-1,76	-1,76	-2,05	-1,76	-0,58	-1,6	-1,96	-2,14	-2,32	-2,5
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,09	0,12	0,13	0,135	0,09	0,12	0,135	0,15	0,165	0,10	0,13	0,16	0,175	0,20
Wägezelle [N]	8,8	14,4	20	22,2	24,4	11,1	17,7	24,4	27,7	30,27	14,4	21,1	28,8	33,5	36,75
DMS [N]	5	10	15	17,39	24,13	0	0,29	0,88	1,76	2,35	-0,35	-0,71	-1,07	-1,6	-1,78
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,095	0,14	0,16	0,17	0,19	0,13	0,17	0,18	0,2	0,22	0,14	0,19	0,21	0,225	0,25
DMS [N]	-4	-1	6	13,12	17,39	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,67	-3,03	-3,39	-3,57	-4,28
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,08	0,1	0,125	0,14	0,16	0,1	0,13	0,14	0,17	0,18	0,12	0,14	0,17	0,18	0,2
DMS [N]	3	9	13,12	17,39	24,13	-0,58	-0,29	0,58	1,17	2,05	-0,89	-1,25	-1,42	-1,78	-2,14
Sattel kurz / Tegument 2 mm /mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,1	0,13	0,14	0,17	0,18	0,13	0,16	0,19	0,215	0,24	0,14	0,18	0,22	0,26	0,29
Wägezelle [N]	8,3	11,1	12,2	15,5	18,8	11,1	16,6	20,5	24,4	27,7	13,3	20	25,5	28,8	33,5
DMS [N]	-2	4	10	15	17,39	-1,76	-1,76	-1,76	-1,76	-1,76	-1,78	-2,14	-2,5	-3,03	-3,57
Sattel kurz / Tegument 2 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,08	0,095	0,12	0,13	0,15	0,095	0,125	0,15	0,175	0,205	0,13	0,16	0,18	0,22	0,26
Wägezelle [N]	7,7	12,2	15,5	18,8	21,1	8,8	15,5	18,8	23,3	28,8	11,1	16,6	22,7	27,2	34,6
DMS [N]	3	8	13,12	16,87	20	-0,29	-0,29	0	0,21	0,58	-0,71	-1,07	-1,60	-1,96	-2,85
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,13	0,17	0,19	0,21	0,225	0,165	0,2	0	0	0,28	0,17	0,22	0,26	0,3	0,33
DMS [N]	-4	-4	1	10	14	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,94	-2,32	-3,2	-3,57	-4,46	-5,35
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,12	0,14	0,16	0,175	0,2	0,14	0,165	0,19	0,215	0,24	0,14	0,18	0,215	0,25	0,28
DMS [N]	2	6	10	13,12	18,26	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-1,07	-1,6	-1,96	-2,85	-3,57
Sattel lang / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,05	0,08	0,09	0,10	0,12	0,06	0,095	0,11	0,13	0,14	0,08	0,12	0,14	0,16	0,18
Wägezelle [N]	7,7	11,6	15,5	20	22,7	9,4	14,4	18,8	22,2	26,6	11,1	16,6	21,1	26,6	28,8
DMS [N]	2	5	8	10,5	13,5	-0,19	0	0,38	0,57	0,76	-0,47	-0,71	-1,07	-1,3	-1,78
Sattel lang / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,09	0,10	0,12	0,13	0,08	0,1	0,13	0,14	0,16	0,085	0,125	0,15	0,175	0,2
DMS [N]	0	2,5	5	8	11,5	-0,76	-0,76	-0,57	-0,57	-0,57	-0,71	-1,19	-1,54	-1,9	-2,26
Sattel lang / Tegument 2 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,09	0,125	0,135	0,16	0,17	0,12	0,14	0,17	0,2	0,22	0,13	0,17	0,22	0,25	0,29
Wägezelle [N]	7,2	11,1	13,3	17,7	20	7,7	13,3	16,6	21,1	24,4	10	16,1	21,6	25,5	29,4
DMS [N]	2	4,5	7	9	11	-0,19	-0,19	0	0	0	-0,59	-1,07	-1,42	-2,02	-2,61
Sattel lang / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,08	0,11	0,13	0,14	0,17	0,095	0,14	0,17	0,18	0,21	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28
DMS [N]	0	2,5	5	7	9,5	-0,76	-0,76	-0,76	-0,96	-0,96	-0,95	-1,42	-1,9	-2,5	-3,21

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen den Einzelmesswerten von 10-50 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

Tab. 4: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffutterteleskop lang (Einzelmesswerte)

	M					Z					D				
Dynamometer [N]	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,05	0,08	0,09	0,1	0,12	0,08	0,1	0,12	0,13	0,14	0,09	0,12	0,14	0,165	0,18
Wägezelle [N]	7,7	13,3	16,6	18,8	21,6	11,1	18,8	22,2	26,6	30	13,3	21,1	27,7	34,6	37,8
DMS [N]	0	4,16	9,16	14,16	22,5	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,92	-2,5	-3,07	-3,46	-4,23
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,05	0,08	0,09	0,1	0,12	0,08	0,1	0,12	0,13	0,14	0,085	0,12	0,13	0,16	0,18
Wägezelle [N]	7,7	13,3	17,7	20	22,2	11,1	16,6	21,1	25,5	27,7	12,2	20	24,4	30	36,2
DMS [N]	0	5	10	15	23,2	-1,11	-1,11	-1,11	-1,11	-1,11	-1,53	-1,92	-2,3	-2,69	-3,26
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,055	0,085	0,1	0,12	0,13	0,08	0,12	0,135	0,15	0,165	0,09	0,13	0,16	0,17	0,19
DMS [N]	-4,16	-3,33	-3,33	3,33	6,66	-3,6	-4,16	-4,16	-4,16	-4,16	-3,84	-4,8	-5,76	-6,34	-6,73
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,055	0,09	0,11	0,125	0,13	0,085	0,12	0,13	0,14	0,165	0,095	0,13	0,16	0,175	0,2
DMS [N]	-2,5	-2,5	3,33	6,66	14,16	-2,77	-2,77	-2,77	-2,77	-2,77	-2,88	-3,65	-4,23	-4,8	-5,38
Sattel kurz / Tegument 2 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,055	0,08	0,09	0,1	0,125	0,07	0,095	0,13	0,15	0,17	0,09	0,13	0,165	0,19	0,24
Wägezelle [N]	6,6	10,5	13,8	15	18,3	7,7	14,4	20	25	30	10,5	17,7	25,5	30,2	37,8
DMS [N]	1,66	5,8	11,6	16,2	22,5	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,73	-2,88	-3,84	-4,8	-6,5
Sattel kurz / Tegument 2 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,055	0,085	0,095	0,12	0,13	0,08	0,1	0,13	0,16	0,18	0,09	0,13	0,16	0,2	0,25
Wägezelle [N]	7,7	12,2	16,6	21,1	25	10	14,4	20,5	25,5	30,2	13,3	18,8	25,5	32,4	40
DMS [N]	1,66	6,66	11,6	17,4	23,2	-0,83	-0,83	-0,83	-0,83	-0,83	-1,34	-1,92	-2,88	-3,65	-5,19
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,09	0,1	0,13	0,14	0,085	0,12	0,14	0,17	0,2	0,1	0,14	0,175	0,21	0,25
DMS [N]	-4,16	-3,33	-0,83	5	9,16	-3,33	-4,16	-4,44	-5	-5,8	-3,46	-4,8	-6,15	-8,03	-10
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,07	0,11	0,13	0,14	0,085	0,12	0,14	0,17	0,20	0,11	0,15	0,18	0,22	0,26
DMS [N]	-2,5	-2,5	2,5	5,8	10,8	-2,5	-2,77	-2,77	-3,33	-3,6	-2,69	-4,04	-5	-6,34	-8,5
Sattel lang / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,085	0,1	0,11	0,125	0,13	0,095	0,125	0,135	0,15	0,163	0,12	0,135	0,16	0,17	0,2
Wägezelle [N]	2,2	6,1	8,8	10,5	14,4	4,4	9,4	13,8	16,6	20	7,7	13,3	18,8	21,1	26,1
DMS [N]	2	4	6	11,25	13,12	0	0	0	-0,2	-0,2	-0,5	-1	-1,37	-1,75	-2,5
Sattel lang / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,045	0,06	0,085	0,09	0,1	0,06	0,085	0,095	0,11	0,125	0,08	0,1	0,125	0,14	0,165
DMS [N]	0	2	4	6	10,6	-1,04	-1,04	-1,04	-1,04	-1,04	-1,12	-1,62	-2,12	-2,62	-3,25
Sattel lang / Tegument 2 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,09	0,12	0,13	0,135	0,14	0,1	0,13	0,16	0,17	0,19	0,125	0,16	0,19	0,22	0,25
Wägezelle [N]	3,3	8,8	12,7	15,5	20	5,5	11,1	17,7	22,2	25,5	7,7	15	21,1	27,7	30,2
DMS [N]	2	4	6,5	10,6	13,75	0	0	0	-0,2	-0,2	-0,5	-1	-1,5	-1,87	-2,37
Sattel lang / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,085	0,1	0,12	0,13	0,085	0,11	0,13	0,16	0,17	0,1	0,14	0,17	0,2	0,22
DMS [N]	-0,5	1,5	3	4,5	7	-1,25	-1,25	-1,25	-1,45	-1,45	-1,12	-1,62	-2,25	-2,87	-3,5

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen den Einzelmesswerten von 10-50 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

Tab. 5: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffutterteleskop lang / Retentionsteg hoch (Einzelmesswerte)

	M					*Z*					*D*				
Dynamometer [N]	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,08	0,095	0,1	0,12	0,13	0,09	0,1	0,12	0,13	0,14	0,1	0,125	0,135	0,15	0,165
Wägezelle [N]	1,1	7,2	9,4	12,7	15,5	3,3	7,7	10,5	13,3	16,6	5,5	12,2	16,6	20	23,3
DMS [N]	2,5	2,5	5	10	15	-1,11	-1,11	-1,11	-1,11	-1,11	-1,33	-2	-2,66	3,33	-4
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,09	0,11	0,13	0,135	0,14	0,1	0,12	0,135	0,16	0,165
Wägezelle [N]	3,3	8,3	11,1	13,8	16,6	5,5	11,1	15,5	20	23,3	9,4	15,5	21,1	26,6	30,5
DMS [N]	2,5	2,5	5	10	15	-1,11	-1,11	-1,11	-1,11	-1,11	-1,33	-2	-2,66	-3,33	-3,33
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,04	0,055	0,08	0,09	0,095	0,05	0,08	0,09	0,1	0,12	0,06	0,09	0,1	0,125	0,135
DMS [N]	-2,5	-2,5	0	5	7,5	-2,22	-2,22	-3,33	-3,33	-3,33	-2,66	-4	-4,66	-5,33	-6,66
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,04	0,07	0,085	0,095	0,1	0,06	0,09	0,1	0,12	0,13	0,08	0,1	0,12	0,13	0,15
DMS [N]	-2,5	-2,5	0	5	7,5	-2,22	-2,22	-3,33	-3,33	-3,33	-2,66	-3,33	-4	-4,66	-5,33
Sattel kurz / Tegument 2 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,1	0,135	0,16	0,17	0,18	0,125	0,16	0,18	0,2	0,22	0,17	0,22	0,25	0,275	0,35
Wägezelle [N]	7,7	13,3	16,6	18,8	21,1	11,1	13,3	23,3	27,7	32,4	16,6	27,7	33,5	40	48,8
DMS [N]	0	0	2,5	5	7,5	-1,11	-1,11	-2,22	-3,33	-3,33	-2,66	-4	-4,66	-6	-7,33
Sattel kurz / Tegument 2 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,12	0,16	0,17	0,19	0,205	0,15	0,19	0,21	0,24	0,27	0,165	0,205	0,235	0,265	0,295
Wägezelle [N]	11,6	17,7	22,2	25,5	28,8	15,5	23,3	28,8	32,4	37,8	17,7	27,7	33,5	40	52,2
DMS [N]	-2,5	-2,5	0	5	7,5	-2,22	-2,22	-2,22	-3,33	-3,33	-2,66	-3,33	-4,66	-5,33	-6,66
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,055	0,09	0,11	0,13	0,14	0,08	0,11	0,14	0,165	0,19	0,095	0,14	0,17	0,21	0,255
DMS [N]	-5	-5	-2,5	0	0	-3,33	-4,44	-5,55	-6,66	-7,77	-3,33	-5,33	-6,66	-8	-10,66
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,04	0,06	0,085	0,1	0,12	0,06	0,1	0,13	0,16	0,18	0,1	0,135	0,18	0,22	0,28
DMS [N]	-2,5	-2,5	0	2,5	5	-2,22	-3,33	-4,44	-5,55	-5,55	-3,33	-4,66	-6	-7,33	-8,66
Sattel lang / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,05	0,08	0,095	0,11	0,12	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,09	0,12	0,14	0,16	0,175
Wägezelle [N]	3,3	7,7	10	13,8	15,5	5,5	11,1	16,6	21,1	26,6	8,3	15,5	21,1	25	30
DMS [N]	5	15	25	35	40	0	0	0	1,66	3,33	-1	-2	-3	-4	-5
Sattel lang / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,045	0,07	0,09	0,1	0,12	0,06	0,09	0,11	0,13	0,14	0,08	0,11	0,135	0,16	0,17
DMS [N]	5	10	25	35	40	0	0	-1,66	-1,66	-3,33	-1	-2	-3	-4	-5
Sattel lang / Tegument 2 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,12	0,14	0,165	0,175	0,19	0,135	0,165	0,18	0,205	0,22	0,14	0,18	0,21	0,24	0,25
Wägezelle [N]	3,8	7,2	9,4	11,6	14,4	6,6	11,1	14,4	17,7	21,1	7,7	12,2	17,7	20	24,4
DMS [N]	5	10	20	30	40	0	0	0	0	0	-2	-3	-4	-5	-6
Sattel lang / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,07	0,095	0,12	0,13	0,14	0,095	0,125	0,15	0,165	0,18	0,12	0,15	0,175	0,2	0,22
DMS [N]	5	10	20	30	40	0	0	0	0	0	-2	-3	-4	-6	-7

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen den Einzelmesswerten von 10-50 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

Tab. 6: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffutterteleskop lang mit Acryl fixiert / Retentionsteg hoch (Einzelmesswerte)

	M					*Z*					*D*				
Dynamometer [N]	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,125	0,14	0,16	0,165	0,17	0,14	0,16	0,17	0,18	0,2	0,16	0,17	0,2	0,21	0,22
Wägezelle [N]	5	10	13,3	16,6	20,5	8,3	13,3	20	23,3	27,7	9,4	17,7	23,8	28,8	31,35
DMS [N]	0	0	2,5	5	7,5	-1,11	-2,22	-3,33	-3,33	-3,33	-2	-2,66	-3,33	-4,66	-5,33
Sattel kurz / Tegument 1 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,13	0,15	0,165	0,175	0,18	0,14	0,165	0,18	0,2	0,21
Wägezelle [N]	3,8	10	13,3	15,5	18,8	6,6	14,4	17,7	22,2	25,5	9,4	17,7	22,2	26,6	30
DMS [N]	0	2,5	2,5	5	7,5	-1,11	-1,11	-2,22	-2,22	-2,22	-2	-2,66	-3,33	-4	-4,66
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,04	0,06	0,085	0,095	0,11	0,055	0,095	0,11	0,125	0,135	0,07	0,1	0,13	0,14	0,16
DMS [N]	-5	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5	-4,44	-6,66	-6,66	-7,77	-7,77	-4	-6	-6,66	-8	-8,66
Sattel kurz / Tegument 1 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,04	0,06	0,09	0,095	0,1	0,06	0,09	0,1	0,125	0,13	0,08	0,1	0,125	0,135	0,15
DMS [N]	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-3,33	-4,44	-5,55	-5,55	-5,55	-3,33	-4,66	-5,33	-6,66	-7,33
Sattel kurz / Tegument 2 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,07	0,095	0,11	0,13	0,14	0,09	0,12	0,14	0,17	0,21	0,1	0,14	0,2	0,245	0,29
Wägezelle [N]	3,8	7,7	8,8	14,4	17,7	5	11,1	17,7	24,4	30,2	7,2	14,4	24,4	34,6	43,18
DMS [N]	2,5	5	10	15	17,5	0	0	0	-1,11	-1,11	-0,66	-2	-2,66	-4	-5,33
Sattel kurz / Tegument 2 mm / mobil ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,09	0,1	0,125	0,14	0,085	0,11	0,14	0,17	0,22	0,1	0,135	0,2	0,25	0,29
Wägezelle [N]	3,3	7,2	10	13,8	18,3	4,4	11,1	17,2	23,8	32,4	7,2	15,5	24,4	37,8	42,7
DMS [N]	2,5	5	7,5	15	17,5	0	0	0	-0,55	-0,55	-0,66	-2	-2,66	-4,66	-5,33
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,05	0,08	0,09	0,1	0,125	0,07	0,095	0,12	0,14	0,17	0,085	0,12	0,15	0,205	0,23
DMS [N]	2,5	5	5	7,5	10	-1,11	-1,11	-2,22	-3,33	-4,44	-1,33	-2,66	-4	-7,33	-9,33
Sattel kurz / Tegument 2 mm / gesperrt ohne Halterung															
Resilienz [mm]	0,06	0,085	0,095	0,12	0,13	0,08	0,1	0,13	0,16	0,18	0,09	0,125	0,165	0,205	0,245
DMS [N]	2,5	5	5	7,5	10	-1,11	-1,11	-2,22	-3,33	-4,44	-1,33	-2,66	-4,66	-6,66	-8
Sattel lang / Tegument 1 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,1	0,13	0,14	0,15	0,165	0,125	0,15	0,16	0,17	0,18	0,15	0,16	0,165	0,175	0,2
Wägezelle [N]	1,6	5	7,7	12,2	14,4	4,4	8,8	12,7	17,7	20,5	7,7	13,3	18,8	23,8	26,6
DMS [N]	5	10	15	20	30	-0,83	-0,83	-0,83	-0,83	-0,83	-2	-4	-4	-5	-6
Sattel lang / Tegument 1 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,055	0,085	0,095	0,11	0,12	0,08	0,1	0,125	0,14	0,15	0,09	0,125	0,14	0,16	0,175
DMS [N]	0	5	15	20	30	-3,33	-3,33	-3,33	-3,33	-3,33	-2	-4	-6	-7	-8
Sattel lang / Tegument 2 mm / mobil mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,085	0,1	0,125	0,13	0,14	0,095	0,13	0,14	0,17	0,18	0,12	0,14	0,17	0,2	0,22
Wägezelle [N]	1,6	3,8	7,2	8,3	12,2	2,7	7,7	11,1	16,6	18,8	3,8	10,5	16,1	21,6	27,2
DMS [N]	10	20	30	40	45	0	0	0	0	0,83	-1	-3	-4	-5	-6
Sattel lang / Tegument 2 mm / gesperrt mit Halterung															
Resilienz [mm]	0,055	0,09	0,1	0,12	0,13	0,08	0,11	0,13	0,15	0,165	0,1	0,13	0,165	0,18	0,205
DMS [N]	5	10	20	35	40	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-2	-4	-5	-7	-8

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen den Einzelmesswerten von 10-50 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

7.1.2 Tabellen Mittelwerte

Tab. 7: Sattellagerung mobil-starr: Scharniergelenk (Mittelwerte)

Dynamometer [N]	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*
	Sattel kurz / Tegument 1mm			***Sattel kurz / Tegument 2 mm***			***Sattel lang / Tegument 1mm***			***Sattel lang / Tegument 2 mm***		
Resilienz [mm]	0,103	0,119	0,13	0,112	0,154	0,187	0,081	0,099	0,114	0,125	0,151	0,178

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen Mittelwerten von 30 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter

7. ANHANG

Tab. 8: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffuttergeschiebe (Mittelwerte)

Dynamometer [N]	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*
	Mobil mit Halterung			***Mobil ohne Halterung***			***Gesperrt mit Halterung***			***Gesperrt ohne Halterung***		
Sattel kurz / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,083	0,136	0,154	0,109	0,141	0,163	0,088	0,118	0,14	0,1	0,127	0,149
Wägezelle [N]	20,3	24,88	28,73	12,5	18,06	23,32	1,53	-4,832	-4,604	18,45	2,144	-0,908
DMS [N]	7,9	-2,62	-2,72	18,45	2,15	-0,908						
Sattel kurz / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,108	0,137	0,168	0,106	0,134	0,169	0,157	0,193	0,216	0,121	0,153	0,187
Wägezelle [N]	20,08	24,34	29,78	11,4	15,18	20,64	-13,39	-7,58	-7,824	18,23	0,998	-1,516
DMS [N]	4,03	-3,226	-3,716	18,45	1,38	-1,38						
Sattel lang / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,086	0,114	0,138				0,1	0,125	0,149			
Wägezelle [N]	12,06	16,62	22,22				15,85	1,866	-0,898			
DMS [N]	16,54	1,866	-0,738									
Sattel lang / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,148	0,185	0,209				0,151	0,184	0,217			
Wägezelle [N]	11,18	15,6	19,64				16,64	1,31	-1,414			
DMS [N]	16,66	1,496	-1,286									

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen Mittelwerten von 30 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

Tab. 9: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffutterteleskop kurz (Mittelwerte)

Dynamometer [N]	M	Z	D	M	Z	D	M	Z	D	M	Z	D
	Mobil mit Halterung			*Mobil ohne Halterung*			*Gesperrt mit Halterung*			*Gesperrt ohne Halterung*		
Sattel kurz / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,125	0,153	0,179	0,107	0,132	0,153	0,151	0,18	0,203	0,121	0,144	0,162
Wägezelle [N]	18,98	25,02	31,35	17,96	22,23	26,91	6,302	-2,94	-3,388	13,33	0,586	-1,496
DMS [N]	11,85	-1,57	-2,104	14,3	0,856	-1,102						
Sattel kurz / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,144	0,187	0,218	0,115	0,15	0,19	0,185	0,129	0,256	0,159	0,19	0,213
Wägezelle [N]	13,18	20,06	24,22	15,06	19,04	22,44	3,4	-2,94	-3,78	9,876	-0,58	-2,21
DMS [N]	8,878	-1,76	-2,604	12,2	0,042	-1,638						
Sattel lang / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,088	0,107	0,136				0,1	0,122	0,147			
Wägezelle [N]	15,5	18,28	20,84				5,4	-0,646	-1,52			
DMS [N]	7,8	0,304	1,066									
Sattel lang / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,136	0,17	0,212				0,126	0,159	0,2			
Wägezelle [N]	13,86	16,62	20,52				4,8	-0,84	-1,996			
DMS [N]	6,7	-0,076	-1,542									

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen Mittelwerten von 30 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

Tab. 10: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffutterteleskop lang (Mittelwerte)

Dynamometer [N]	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*
	Mobil mit Halterung			***Mobil ohne Halterung***			***Gesperrt mit Halterung***			***Gesperrt ohne Halterung***		
Sattel kurz / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,088	0,114	0,134	0,088	0,114	0,135	0,098	0,13	0,148	0,102	0,128	0,152
Wägezelle [N]	15,6	21,74	26,9	16,18	20,4	24,56	-0,166	-4,048	-6,762	3,83	-2,77	-4,188
DMS [N]	9,996	-1,66	-3,036	10,64	-1,11	-2,34						
Sattel kurz / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,09	0,123	0,163	0,097	0,13	0,166	0,104	0,143	0,175	0,102	0,143	0,184
Wägezelle [N]	12,84	19,42	24,34	16,52	20,12	26	1,168	-4,546	-6,488	2,82	-2,994	-5,34
DMS [N]	11,55	-1,35	-3,95	12,1	-0,83	-2,996						
Sattel lang / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,11	0,134	0,157				0,076	0,095	0,122			
Wägezelle [N]	8,4	12,84	17,4				4,52	-1,04	-2,146			
DMS [N]	7,274	-0,08	-1,424									
Sattel lang / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,123	0,15	0,189				0,099	0,131	0,166			
Wägezelle [N]	12,06	16,4	20,34				3,1	-1,33	-2,272			
DMS [N]	7,37	-0,08	-1,448									

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen Mittelwerten von 30 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

Tab. 11: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffutterteleskop lang / Retentionsteg hoch (Mittelwerte)

Dynamometer [N]	M	Z	D	M	Z	D	M	Z	D	M	Z	D
	Mobil mit Halterung			*Mobil ohne Halterung*			*Gesperrt mit Halterung*			*Gesperrt ohne Halterung*		
Sattel kurz / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,105	0,116	0,135	0,106	0,121	0,136	0,072	0,088	0,102	0,078	0,1	0,116
Wägezelle [N]	9,18	10,28	15,52	10,62	15,08	20,62	1,5	-2,886	-4,662	1,5	-2,886	-3,996
DMS [N]	7	-1,1	-2,664	7	-1,1	2,53						
Sattel kurz / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,149	0,177	0,243	0,169	0,212	0,233	0,105	0,137	0,174	0,081	0,126	0,183
Wägezelle [N]	15,5	21,56	33,32	21,16	27,56	34,22	-2,5	-5,55	-6,796	0,5	-4,218	5,996
DMS [N]	3	-2,22	-4,93	1,5	-2,664	-4,528						
Sattel lang / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,091	0,114	0,137				0,085	0,106	0,131			
Wägezelle [N]	10,06	16,18	19,98				23	1,33	-3			
DMS [N]	24	0,998	-3									
Sattel lang / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,158	0,181	0,204				0,111	0,143	0,173			
Wägezelle [N]	9,28	14,18	16,4				21	0	-4,4			
DMS [N]	21	0	-4									

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen Mittelwerten von 30 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

Tab. 12: Sattellagerung immobil-starr: Kunststofffutterteleskop lang mit Acryl fixiert / Retentionsteg hoch (Mittelwerte)

Dynamometer [N]	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*	*M*	*Z*	*D*
	Mobil mit Halterung			***Mobil ohne Halterung***			***Gesperrt mit Halterung***			***Gesperrt ohne Halterung***		
Sattel kurz / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,152	0,17	0,192	0,14	0,16	0,179	0,078	0,103	0,12	0,077	0,101	0,118
Wägezelle [N]	13,08	18,52	22,21	12,28	17,28	21,18	-7	-6,66	-6,664	-2,5	-4,884	-5,462
DMS [N]	3	-2,664	-3,596	3,5	-1,776	-3,33						
Sattel kurz / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,109	0,146	0,195	0,103	0,145	0,195	0,089	0,119	0,158	0,098	0,13	0,166
Wägezelle [N]	10,48	17,68	24,76	10,52	17,78	26,52	6	-2,442	-4,93	6	-2,442	-4,662
DMS [N]	10	-0,444	-2,93	9,5	-0,22	-3,012						
Sattel lang / Tegument 1 mm												
Resilienz [mm]	0,137	0,157	0,17				0,093	0,119	0,138			
Wägezelle [N]	8,18	12,72	18,04				14	-3,33	-5,4			
DMS [N]	16	-0,83	-4,2									
Sattel lang / Tegument 2 mm												
Resilienz [mm]	0,116	0,143	0,17				0,099	0,127	0,156			
Wägezelle [N]	6,62	11,38	15,84				22	-1,66	-5,2			
DMS [N]	29	0,166	-3,8									

Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen Mittelwerten von 30 Newton bei jeweils mesialer, zentraler und distaler Sattelbelastung.

M, Z, D = mesiale, zentrale, distale Sattelbelastung
Dynamometer [N] = Kraftgeber in Newton
Resilienz [mm] = Schleimhautresilienz in Millimeter
Wägezelle [N] = Horizontale Pfeilerkräfte in Newton
DMS [N] = Verformungskräfte der Sattelretention in Newton

7. ANHANG

7.2 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. P. Ludwig für die freundliche Überlassung des Themas, die vielfältigen Anregungen, Ratschläge und seine stete Unterstützung während der Bearbeitung des Themas.
Ebenso möchte ich Herrn Müller für die Mithilfe bei der Herstellung des Versuchsaufbaus und meinem Vater für die Bearbeitung der Fotografien danken.

7. ANHANG

7.3 Lebenslauf

Name	Thilo Munz geboren am 28. Juli 1978 in Mutlangen
Eltern	Cosima Munz geb. Gaiser und Arnold Munz
Schulen	1985 – 1989 Grundschule, Schule im Lindengarten, Pfahlbronn 1989 – 1998 Limes-Gymnasium, Welzheim
Zivildienst	1998 – 1999 Krankenhaus Bethel, Welzheim
Praktikum	1999 – 2000 Dental-Technik-Freiseis, Schorndorf
Studium	Beginn 2. 5. 2000 Naturwissenschaftliche Vorprüfung 20. 4. 2001 Zahnärztliche Vorprüfung 7. 8. 2002 Ende des Studiums 14. 6. 2005 Zahnärztliche Approbation 27. 6. 2005
Beruf	Arbeitsbeginn als Assistenzzahnarzt an der Zahnklinik der Universität Ulm 1. 7. 2005
Promotion	20. 7. 2006