

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde
Direktorin: Prof. Dr. Ursula Platzer

Physikalische Eigenschaften unterschiedlicher Kofferdamfolien in vitro und in vivo (Simulation)

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin dem Fachbe-
reich Medizin der Universität Hamburg

vorgelegt von
Aziz Abdullah
aus Baniyas, Syrien

Hamburg 2006

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am:

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, die/der Vorsitzende/r: PD. Dr. M. O. Ahlers

Prüfungsausschuss, 2. Gutachter/in: Prof. Dr. U. Platzer

Prüfungsausschuss, 3. Gutachter/in: Prof. Dr. K. Roth

1	Einleitung.....	5
2	Literaturübersicht.....	7
2.1	Kofferdam Folien (historisches).....	7
2.2	Hilfsmittel: Lochzangen und Klammern.....	10
2.3	Normative Vorgaben zur Beschreibung von Kofferdamfolien bzw. deren Prüfung	10
2.3.1	Grundnormen.....	11
2.3.2	Prüfnormen	12
2.3.3	Wissenschaftliche Publikationen.....	12
2.4	Meßmethoden.....	12
2.4.1	DIN 53 515: Weiterreißversuch mit der Winkelprobe nach GRAVES mit Einschnitt.	13
2.4.2	ISO 34-1979 (E): Rubber, vulcanized - Determination of tear strength (trouser, angel and crescent test pieces)	14
2.4.3	ASTM D 624: Standard Test Method For Rubber Property - Tear Resistance.....	15
2.4.4	ADA WG. 90, Normvorschlag: Weiterreißversuch	16
2.4.5	DIN 53 504: Prüfung von Elastomeren (Zugversuch)	17
2.4.6	ISO 37 - 1977 (E): Rubber, vulcanized - Determination of tensile stress-strain properties	18
2.4.7	ADA WG. 90, NORMVORSCHLAG: ZUGVERSUCH	19
2.4.8	ADA WG. 90, Normvorschlag: Relaxationversuch.....	21
2.5	Messung der Retentionskraft von Kofferdamklammern.....	22
2.6	Interaktion zwischen Kofferdamrahmen, Kofferdamfolien und Kofferdamklammern	22
3	Material und Methoden	23
3.1	Untersuchte Materialien und Instrumente.....	23
3.1.1	Kofferdamfolien	23
3.1.2	Vorbereitung der Proben für den Weiterreißversuch	25
3.1.3	Vorbereitung der Proben für den Zugversuch.....	26
3.1.4	Untersuchte Kofferdamrahmen	26

3.1.5	Prüfgeräte	29
3.2	Prüfmethoden	31
3.2.1	Messung der Reißfestigkeit der Kofferdamfolien	31
3.2.2	Messung der Bruchfestigkeit und der Elastizität der Kofferdamfolien	31
3.2.3	Makro/ Mikroskopische Untersuchungen der Proben.....	32
3.2.4	Messung der in vivo zu erwartenden Zugkräfte am Simulator	32
4	Ergebnisse.....	37
4.1	Ergebnisse der Bruchfestigkeitsprüfung	37
4.1.1	SDS Dura Dental Dam (Stärken: unbekannt, mittel)	37
4.1.2	Ivory Dental Dam (Stärken: dünn, mittel, stark).....	40
4.1.3	Hygenic Dental Dam (neu).....	43
4.1.4	Hygenic Dental Dam (alt)	47
4.1.5	Roeko Dental Dam (dünn, mittel, stark)	49
4.1.6	Roeko Dental Dam (Non Latex).....	53
4.1.7	Hager & Werken Fit Kofferdam.....	56
4.1.8	Kenzler Kaschner KKD Sympatic Dam.....	59
4.1.9	SDS Iso Dam (Stärke: mittel/ Non latex)	63
4.1.10	Der Einfluß der Materialstärke auf die Bruchfestigkeit	64
4.1.11	Herstellervergleich	65
4.1.12	Materialvergleich latex vs. Non-Latex	66
4.1.13	Alter des Materials	67
4.1.14	Auswertung der Ergebnisse der Bruchfestigkeit	68
4.2	Ergebnisse des Weiterreißversuchs	69
4.2.1	SDS Dura Dental Dam (Stärke: unbekannt, mittel)	69
4.2.2	Ivory Dental Dam (Stärke: dünn, mittel, stark).....	72
4.2.3	Hygenic Dental Dam (neu).....	76
4.2.4	Hygenic Dental Dam (alt)	80
4.2.5	Roeko Dental Dam (dünn, mittel, stark)	82
4.2.6	Roeko Dental Dam (Non Latex).....	85
4.2.7	Hager & Werken Fit Kofferdam.....	86
4.2.8	Kenzler Kaschner KKD Sympatic Dam.....	89

4.2.9	SDS Iso Dam (Stärke: mittel/Non Latex).....	92
4.2.10	Der Einfluß der Materialstärke auf die Reißfestigkeit	93
4.2.11	Herstellervergleich	94
4.2.12	Materialvergleich Latex vs. Non-Latex.....	96
4.2.13	Alter des Materials	97
4.2.14	Auswertung der Ergebnisse der Reißfestigkeiten	97
4.3	Ergebnisse der Zugkraftversuche ohne Dummy	99
4.3.1	Einfluß des Kofferdamrahmens Hygenic Master 6	100
4.3.2	Einfluß des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame (SDS)	101
4.3.3	Einfluß des Kofferdamrahmens nach YOUNG (Ivory).....	103
4.3.4	Einfluß des Kofferdamrahmens nach SAUVEUR.....	104
4.3.5	Kombination: alle Kofferdamrahmen mit der Ivory Folie/Latex	106
4.3.6	Kombination aller Kofferdamrahmen mit der Hygenic-Folie/Latex.....	108
4.3.7	Kombination: alle Kofferdamrahmen mit der Roeko-Folie/Latex.....	110
4.3.8	Kombination: alle Kofferdamrahmen mit der Isodam-Folie/Non-Latex	112
4.4	Zugkrafteergebnisse mit Dummy.....	115
4.4.1	Einfluß des Kofferdamrahmens Hygenic Master 6	115
4.4.2	Einfluß des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame	116
4.4.3	Einfluß des Kofferdamrahmens nach YOUNG (Ivory).....	118
4.4.4	Einfluß des Kofferdamrahmens nach SAUVEUR.....	119
4.4.5	Kombination: alle Kofferdamrahmen mit Ivory Folie/ Latex	121
4.4.6	Kombination: alle Kofferdamrahmen mit Hygenic Folie/Latex	123
4.4.7	Kombination: alle Kofferdamrahmen mit Roeko Folie/Latex	125
4.4.8	Kombination: alle Kofferdamrahmen mit Iso Dam Folie/ Latex	126
5	Diskussion.....	129
5.1	In vitro Versuche zur Charakterisierung von Reißfestigkeit und Bruchfestigkeil	129
5.1.1	Proben/Maßhaltigkeit: Klassifikation nach Winkler.....	129
5.1.2	Bewertung der Messergebnisse	130

5.2	In vivo Simulation zur Messung der Zugkraft in Abhängigkeit des Folienmaterials und der Gestaltung des Folienhalters	142
6	Zusammenfassung	147
7	Literatur	150
8	Danksagung	154
9	Lebenslauf.....	155
10	Erklärung	156

1 Einleitung

In der Zahnmedizin sind heute zwei Teilbereiche in *besonderem* Maße anfällig gegen die in der Mundhöhle herrschende Feuchtigkeit.

- Der eine Teilbereich die Endodontie, wo die in der Mundhöhle herrschende Feuchtigkeit generell als kontaminiert anzusehen ist und dem angestrebten Behandlungszweck der Desinfektion des Wurzelkanalsystems, entgegensteht (Grossman 1988; Heling 1977; Kamann 1998; Weine 1989; Wong 1988).
- Der zweite Bereich ist die restaurativ Zahnheilkunde unter Verwendung der Adhäsivtechnik, wo die Feuchtigkeit dem späteren Adhäsivverbund entgegensteht (Hellwig 1995; Hickel 2000; Terry 2005).

In beiden Fällen ist nach aktuellem Standard die Verwendung der „absoluten Trockenlegung“ unter Einsatz der Isolation per Kofferdam indiziert (Minoodt, Slaus u. Bottenberg 2005; Pecchioni 1982). Diese Isolationstechnik ist mittlerweile vor über 100 Jahren in die Zahnmedizin eingeführt worden und diente ursprünglich bereits der Isolation des Behandlungsfeldes gegen die potentiell kontaminierte Mundhöhle im Rahmen endodontischer Maßnahmen (Ahlers 2000; Beer 1991; Kamann 1996).

Mittlerweile hat sich das Indikationsspektrum für die absolute Trockenlegung mittels Kofferdam durch neue Behandlungstechniken erweitert (Lutz 1976). Analog dazu wurden verschiedene Hilfsmittel entwickelt, welche die Isolation mittels Kofferdam erleichtern sollen. Zur Vermeidung unnötiger Verwirrungen macht es dabei Sinn, die Behandlungstechnik nach ihren wesentlichen **Arbeitsschritten** zu unterscheiden. Diese bestehen darin, daß eine elastische Folie über den zu behandelnden Zahn bzw. die zu behandelnden Zähne gespannt und mittels entsprechender Medizinprodukte an Ort und Stelle und offen gehalten wird (Ahlers 2001).

Elementare Voraussetzung für das Gelingen dieser Arbeitsschritte ist demnach die Verfügbarkeit geeigneter **elastischer Folien**. Traditionell wurden diese elastischen Folien aus Naturkautschuk bzw. Latex hergestellt; heute sind zudem Alternativen aus

industriell hergestellten Polymeren (Silikone) verfügbar (Blinkhorn u. Leggate 1984; Ireland 1997; Kosti u. Lambrianidis 2002). Um so erstaunlicher ist es, daß für die Charakterisierung, Prüfung und Bewertung dieser elastischen Folien bislang keinerlei Normen vorliegen. Auch die verfügbare wissenschaftliche Literatur ist äußerst dünn gesät und steht damit im krassen Gegensatz zur vergleichsweise großen Anzahl publizierter Anleitungen zur praktischen Vorgehensweise bei der Kofferdamtechnik.

Die Arbeitsgruppe der Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde am UKE hat daher an der Entwicklung eines amerikanischen Normvorhabens mitgewirkt, mit dem Ziel, einen ersten international akzeptierten Standard für die Charakterisierung und Prüfung von Kofferdamfolien zu erarbeiten. Bislang liegen allerdings keine unabhängigen Untersuchungen darüber vor, inwieweit diese Untersuchungsprotokolle geeignet sind, die verschiedenen Folien tatsächlich zu charakterisieren und ihre Eignung bei der klinischen Anwendung zu simulieren und zu überprüfen.

Gegenstand dieser Dissertation ist es daher, die Eignung des Normvorschlages zu untersuchen und darüber hinaus eine praktische Versuchsanleitung zu entwickeln, die es künftig ermöglicht, bisher bekannte und neu entwickelte Kofferdamfolien auf ihre klinische Eignung im Vorwege zu untersuchen. Sollte sich die Eignung des Normvorschlages und des ergänzend zu entwickelnden Versuchsaufbaues belegen lassen, könnte dieser künftig die Grundlage entsprechender Konformitätsbewertungsverfahren im Rahmen der europaweiten Zulassung entsprechender Medizinprodukte durch die verschiedenen Hersteller werden.

2 Literaturübersicht

Um die entwickelten Versuchsbedingungen im Rahmen der Charakterisierung von Kofferdam gut zu verstehen, ist zunächst ein Grundverständnis über dieses „exotisch“ anmutende Behandlungsmittel erforderlich. Dieses erschließt sich über den historischen Hintergrund und die physikalischen Vorgaben, soweit letztere bisher überhaupt existieren.

2.1 Kofferdam Folien (historisches)

Die chemische Voraussetzung für die spätere Entwicklung der Kofferdamtechnik geht auf GOODYEAR zurück. Dieser entdeckte 1839 die chemische Vulkanisation des Kautschuks zu Gummi. Somit war die Grundlage der späteren Gummi-Folien geschaffen. Die erstmalige Isolation eines Zahnes mit einem als „Cofferdam“ bezeichneten Wachsband gegen Feuchtigkeit geht auf SWINEK zurück. BARNUM experimentierte in seiner eigenen Praxis ebenfalls mit Techniken zur Trockenlegung von Zähnen bei konservierender Behandlung, verwendete hierfür aber zunächst Gummiringe und Öltücher. 1864 kam ihm schließlich bei der Behandlung eines unteren Molaren spontan die Idee, ein Gummituch zu lochen und über den Zahn zu ziehen – die Geburtsstunde der heutigen Kofferdamtechnik (Winkler 1991).

Die **Folien**, wie sie BARNUM verwendete, wurden bis zum Jahre 1943 aus **Rohkautschuk** hergestellt und durch Walzen in die erforderliche geringe Stärke gebracht.

Ab dem Jahre 1943 wurde schließlich ein qualitativ verbessertes Produkt aus **Latex** gewonnen. Dessen Ausgangsprodukt ist der Pflanzensaft der Hevea Brasiliens oder des Ficus Elastica. Das Hevealatex zeigt folgende Zusammensetzung:

- Wasser 60-65 %
- Kautschukkohlenwasserstoffe 30-35 %
- Proteine, Lipide, Kohlenhydrate 1 %
- anorganische Bestandteile 0,5 %

Dabei werden die polymeren Kohlenwasserstoffmoleküle durch die genannten Proteine als Schutzkolloide in wässriger Dispersion gehalten.

Der *wesentliche* Bestandteil des Latexsaftes ist demzufolge nach wie vor der **Kautschuk**. Dieser besteht aus:

- 1,4 Polyisopren 94 %
- Proteine 2,8 %
- Acetonlösungen 2,8 %
- anorganische Stoffe 0,4 %

Die Kofferdamfolien werden in verschiedenen **Folienstärken** angeboten (besonders stark / extra stark/ mittel / dünn). Allgemein lassen sich *dünne* Kofferdamfolien leichter über den Zahn und in die Zahnzwischenräume ziehen als stärkeres Material und ist insofern zunächst leichter zu applizieren. Andererseits reißen dünne Folien leichter beim Kontakt mit scharfen Zahnkanten oder den Rändern der Kofferdamklammer bzw. rotierenden Instrumente. Zudem ist bei dünnen Folien klinisch nach dem Überziehen über den Zahn und dem Aufspannen auf den Kofferdamrahmen die Verdrängung der Weichteile geringer ausgeprägt. Insofern scheint für erfahrene Behandler viel für die Verwendung *stärkerer* Folien zu sprechen. Andererseits verlangt eine größere Stärke nach einer festeren Retention des Kofferdams auf dem zur Befestigung dienenden Zahn. Der Erhöhung der Stärke sind insofern klinisch enge Grenzen gesetzt.

Die Kofferdamfolien werden zudem in verschiedenen **Farben** geliefert. Neben dem *hellen* Naturfarbton bieten die Hersteller heute Kofferdarmfolien in den Farben *grau*, *grün*, *blau* an. Um die Anwendung attraktiver zu machen, sind mittlerweile sogar bunt sortierte Folien in den Farben *hellblau*, *rosa* und *purpur* auf dem Markt, zusätzlich mit Fruchtgeschmack versehen („Fiesta“).

Helle Folien werden wegen deren Transparenz für den endodontischen Einsatz empfohlen; dadurch ist die Positionierung des Röntgenfilmes besser zu kontrollieren.

Dunkle Folien kennzeichnet der Vorteil, durch den Kontrast zur Zahnfarbe den Zahn von seiner Umgebung optisch zu isolieren. Eine farbige Kofferdamfläche steigert die

Arbeitsfreude des Behandlers und hat bei längeren Behandlungen positiven Einfluß auf die Konzentrationsfähigkeit.

Herstellungsbedingt weisen die Kofferdamfolien zwei unterschiedliche **Oberflächen** auf, eine matte und eine stärker reflektierende Seite. Die Ursache hierfür ist eine Beschichtung mit einem Puder, um ein Verkleben der Folien in der Verpackung zu vermeiden. Derartige Folien sollten ursprünglich so an Patienten angelegt werden, daß die matte Seite zum Patienten hin gerichtet angelegt wird. Aus heutiger Sicht hingegen empfiehlt es sich, die matte Seite zum Behandler zu richten, da die verwendeten Stärkepulver häufig die Träger der Latexallergie darstellen und zudem die brillante Seite durch ihre Lichtreflexion bei der Behandlung unter dem Operationsmikroskop den Zahnarzt eher blendet (Winkler 1991).

Kofferdam kommt in Form von **Rollen oder vorgeschnittenen Quadraten** in den Handel. Die vorgeschnittenen Quadrate sind 6 x 6 inch (15,24 x 15,24 cm) groß und sind für die Behandlung von Erwachsenen vorgesehen. Die kleineren Folien im Format 5 x 5 inch (12,7 cm x 12,7 cm) sollten zur Behandlung von Kindern verwendet werden (Winkler 1991). Dies erfordert allerdings spezielle Kofferdamrahmen.

Vor dem Hintergrund zunehmender Berichte über Allergiefälle bei dem Kontakt mit Latexprodukten in der Medizin wurde in den 90er Jahren das Augenmerk der Hersteller vermehrt auf die **Entwicklung latexfreier Folienalternativen** gerichtet (Coppes 1962; de Andrade et al. 2000; Field et al. 1997). Einen ersten Bericht über eine derartige latexfreie Folie publizierte PATTERSON im Jahre 1989 (Patterson 1989). Er schlug vor, in entsprechend begründeten Fällen anstelle einer Latexfolie eine haushaltsübliche Polyethylen (PE)-Folie über einen herkömmlichen Kofferdamrahmen zu spannen. Diese Lösung war zwar technisch unausgereift, ermöglichte aber auch bei Patienten mit bekannter Latex-Überempfindlichkeit die Isolation mittels der Kofferdamtechnik. Einen praktisch identischen Vorschlag publizierte GALLEN 1993, indem er vorschlug, eine Polyethylen-Folie, die in der Zahnarztpraxis typischerweise zur Abdeckung der Kopfstütze Verwendung findet, anstelle latexhaltiger Kofferdam-

folien einzusetzen. IRELAND schlug schließlich 1997 vor, bei Patienten mit bekannter Latex-Sensibilität einen Vinylhandschuh zur Verwendung anstelle der Latexfolie zu verwenden (Ireland 1997).

Vor diesem Hintergrund kamen verschiedene Dentalhersteller zu dem Schluß, daß es offensichtlich sinnvoll wäre, derartige Produkte konfektioniert anzubieten. Mittlerweile werden daher von diversen Herstellern latexfreie Folienalternativen auf der Basis von **Vinyl- bzw. Silikonfolien** angeboten (siehe 3. Material und Methoden).

2.2 Hilfsmittel: Lochzangen und Klammern

Für die von BARNUM erfundene Lochung des Gummituches entwickelte S.S. WHITE schließlich 1882 die erste, noch heute verwendete **Lochzange** (Babcock 1874; Calder 1874; White 1882).

Dazu passend stellte PALMER ein Set von 32 metallenen **Kofferdamklammern** vor, die zur Befestigung des Gummituches auf den verschiedenen Zähnen bestimmt waren. Für jeden Zahn war dabei eine eigene Klammer vorgesehen (Well 1882). Acht Jahre später entwickelte HARVEY (1900) einen Klammertyp, der mesial und distal im Interdentalraum Halt findet (Kamann 1996).

2.3 Normative Vorgaben zur Beschreibung von Kofferdamfolien bzw. deren Prüfung

Kofferdamklammern sind nach Maßgabe der EU-Richtlinie über Medizinprodukte bzw. des daraus abgeleiteten deutschen Medizinproduktegesetzes „Medizinprodukte“. Ihre Inverkehrbringung erfordert eine herstellerseitige Zulassung, die wiederum eine Feststellung voraussetzt, nach der das Medizinprodukt die „grundlegenden Anforderungen“ erfüllt (Konformitätserklärung). In der Regel erfolgt die durch Abgleich mit den einschlägigen Normen. Diesem legt eine Beschäftigung mit der Abbildung von Kofferdamprodukten im (inter-) nationalen Normungswesen nahe.

Typisch für das internationale Normungswesen ist seine Mehrstufigkeit. Auch wenn die verschiedenen Normen nach außen hin keine hierarchische Ordnung erkennen lassen, so ist in ihrem Inneren doch ein stringentes, mehrstufiges Ordnungssystem verwirklicht. Unterschieden wird dabei zwischen Grundnormen für Medizinprodukte (Ebene I), Gruppennormen für Medizinprodukte in der Zahnheilkunde (Ebene II) und nach geordneten Produktnormen, die einzelne Medizinprodukte standardisieren helfen.

Darüber hinaus ist im Normungswesen zu unterscheiden zwischen internationalen (ISO) Normen, homologisierten europäischen (EN) und in nationale Normen überführten (DIN) Normen. Daneben existieren gerade in dem für diese Arbeit relevanten Bereich nationale Normen, beispielsweise aus den USA, die bisher noch nicht zu internationalen Normen wurden (ASTM, siehe 2.4.3).

Für die Beurteilung von Kofferdamproben bzw. für die Entwicklung des amerikanischen Normvorschlages der ADA (siehe 2.4.4) waren und sind dabei die nachfolgend inhaltlich kurz erläuterten Normen relevant.

2.3.1 Grundnormen

Im Hinblick auf die Prüfung von Kofferdamfolien sind dabei zum einen die Grundnormen relevant:

- DIN EN 30993 : 1994 Biologische Beurteilung von Medizinprodukten
- DIN EN 46001 : 1993 (bzw. 2000) Qualitätssicherungssysteme; Medizinprodukte; besondere Anforderungen für die Anwendung von EN 29001
- DIN EN 46002 : 1993 (bzw. 2000) Qualitätssicherungssysteme; Medizinprodukte; besondere Anforderungen für die Anwendung von EN 29002
- DIN EN 742 : 1994 Anleitung zur Anwendung von EN 29001 und EN 46001 und von EN 29002 und EN 46002 für nicht-aktive Medizinprodukte.

2.3.2 Prüfnormen

Um die verschiedenen Normvorschriften aus existenten ISO- und DIN-Normen zusammenzuführen, wurde daher von der **American Dental Association (ADA)** eine Arbeitsgruppe eingesetzt, um eine spezielle Prüfnorm für die Untersuchung von Kofferdam zu schaffen. Diese Arbeitsgruppe (Working Group (WG) 90: Proposed specification on rubber dam) hatte folglich die Aufgabe, die verschiedenen, in einzelnen Prüfnormen bereits beschriebenen Versuche, in eine gemeinsame Prüfnorm zusammenzuführen. Die Inhalte sind im Verlauf dieses Überblickes beschrieben.

2.3.3 Wissenschaftliche Publikationen

Darüber hinaus existiert *eine* wissenschaftliche Publikation (A. Svec 1996), die sich mit den Zugfestigkeiten und der Reißfestigkeit von Kofferdamfolien dezidiert beschäftigt. Darin nimmt der Autor ausdrücklich Bezug auf die oben genannten ISO 34 : 1979 und ISO 37 : 1977.

Schlußfolgerung

Insofern ist zumindest eine erste Vorgabe zur Auswahl geeigneter Meßmethoden hinsichtlich der Bestimmung der physikalischen Eigenschaften von elastischen Folien in der Kofferdamtechnik gegeben. Die im folgenden Abschnitt detaillierter wiedergegebene Untersuchungsvorgabe des bislang noch unveröffentlichten ADA-Normvorschlages geht auf jene Normvorgaben zurück und faßt diese zu einem einheitlichen Untersuchungsablauf zusammen (siehe 2.4).

2.4 Meßmethoden

Bevor die durchgeführten Versuche vorgestellt werden, erfolgt eine Zusammenfassung der bislang existenten Prüfnormen, um einen Überblick über deren Inhalte und Festlegungen zu geben. Daraus wird klar, daß viele der Faktoren unter den verschiedenen Normen identisch sind und für den Normvorschlag der ADA lediglich übernommen wurden.

2.4.1 DIN 53 515: Weiterreißversuch mit der Winkelprobe nach GRAVES mit Einschnitt.

Aus flächigen Probestücken werden Proben nach der im Bild dargestellten *Form* entnommen. Die *Dicke* der Probestücke muß bei Gummi etwa 2 mm betragen. Um einen *Normrißpunkt* vorzugeben sind die Proben mit einem Schneidmesser auszuschnitten und mit einer Rasierklinge im Scheitelpunkt der inneren Abwinklung 1 mm $\pm$ 0.05 mm tief einzuschneiden (Abbildung 2.4-1).

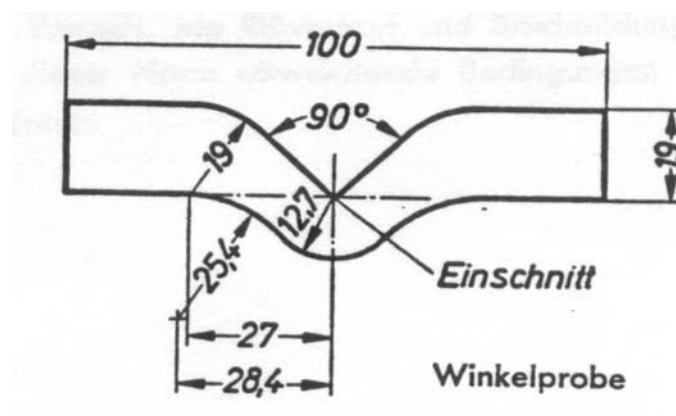


Abbildung 2.4-1: Winkelprobe nach Graves mit Einschnitt

Anzahl der Proben

Zu prüfen sind mindestens 3 Proben, gegebenenfalls je 3 in den in Abschnitt 3 erwähnten Richtungen. In Schiedsfällen soll die Probenzahl mindestens je 10 betragen.

Parameter der Versuchsdurchführung

Der Versuch wird unter folgenden Bedingungen durchgeführt

- bei Gummifolien
- in Normalklima

Die Probe wird in die obere und untere Einspannklemme der Zugprüfmaschine auf 20 bis 25 mm Länge eingespannt und mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 500 mm/min. gereckt. Die angezeigte Höchstkraft wird abgelesen.

Aus den gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet:

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft / **d:** Dicke der jeweiligen Teststreifen (DIN-53515).

2.4.2 ISO 34-1979 (E): Rubber, vulcanized - Determination of tear strength (trouser, angel and crescent test pieces)

Aus flächigen Probestücken werden Proben nach Maßgabe der Abbildung entnommen (Abbildung 2.4-2). Die Dicke der Probestücke muß „bei Gummi“ etwa 2 ± 0.2 mm betragen.

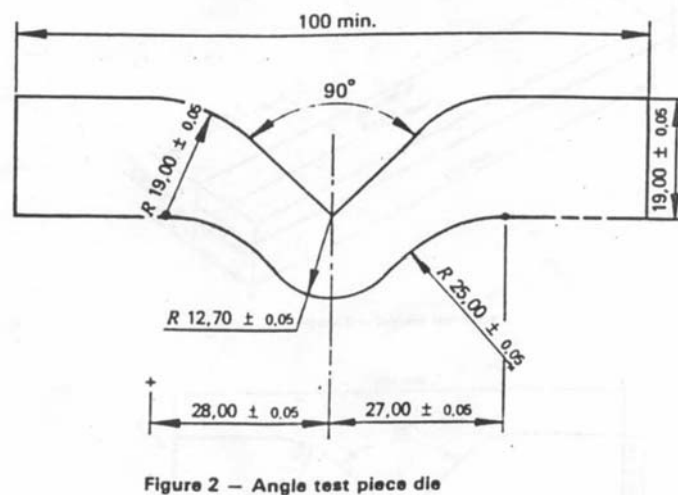


Abbildung 2.4-2: Winkelprobe („angel piece“) nach ISO 34-1979 (E)

Anzahl der Proben

Zu prüfen sind mindestens 5 Proben.

Parameter der Versuchsdurchführung

Der Versuch wird durchgeführt:

- bei Gummi in Normalklima, mindestens 3 Stunden nach der Stanzung.

Die Probe wird in die obere und untere Einspannklemme der Zugprüfmaschine eingesetzt und mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 500 ± 50 mm/min. gereckt, bis die Probe reißt. Die angezeigte Höchstkraft wird abgelesen.

Aus den gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet:

$T_s = F/d$ (F: Höchstkraft / d: Dicke der jeweiligen Teststreifen) (ISO 1979).

2.4.3 ASTM D 624: Standard Test Method For Rubber Property - Tear Resistance

Aus flächigen Probestücken werden Proben, wie auf dem Bild gezeigt, gestanzt. Die Dicke der Probestücke muß bei Gummi etwa 1.3-3.2 mm betragen. Falls Proben dünner als oben angegebene Stärke getestet werden müssen, sollten die Werte dieser Proben nicht mit den Werten der Standardproben verglichen werden (Abbildung 2.4-3).

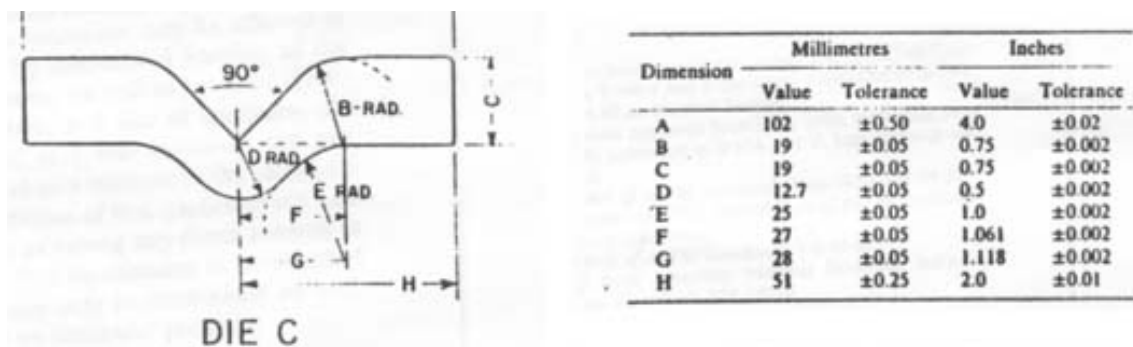


Abbildung 2.4-3: Darstellung der Winkelprobe („angel piece“) und tabellarische Auflistung ihrer zugelassenen Abmessungen nach ASTM D 624

Anzahl der Proben

Zu prüfen sind mindestens 5 Proben.

Parameter der Versuchsdurchführung

Der Versuch wird durchgeführt:

- bei Gummi
- in Normalklima (23 ± 2 °C), mindestens 24 Stunden nach der Stanzung.

Die Probe wird in die obere und untere Einspannklemme der Zugprüfmaschine eingesetzt und mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 500 ± 50 mm/min. gereckt, bis die Probe reißt. Die angezeigte Höchstkraft und die Dicke werden notiert.

Aus den gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet:

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft / **d:** Dicke der jeweiligen Teststreifen (ASTM-D-624).

2.4.4 ADA WG. 90, Normvorschlag: Weiterreißversuch

Die Proben werden nach ISO 34-1979 (E) verwendet.

Die Dicke der Proben soll gleich der Dicke der zu prüfenden Kofferdamfolien sein (Abbildung 2.4-4)

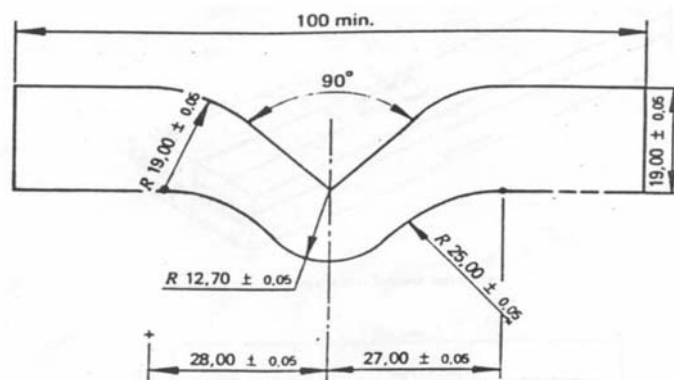


Abbildung 2.4-4: Winkelprobe („angel piece“) nach Normvorschlag der ADA WG. 90

Anzahl der Proben

Zu prüfen sind mindestens 5 Proben.

Parameter der Versuchsdurchführung

Der Versuch wird durchgeführt

- bei Kofferdamfolien (!)
- in Normalklima (23 ± 1 °C).

Die Probe wird in die obere und untere Einspannklemme der Zugprüfmaschine eingesetzt. Die Meßlänge zwischen den Markierungen soll 5 cm, wenn die Folie total nicht gespannt ist, betragen. Dann wird die probe mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 500 ± 50 mm/min. gereckt, bis die Probe reißt. Die angezeigte Höchstkraft wird notiert.

Aus den gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet:

$$T_s = F/d$$

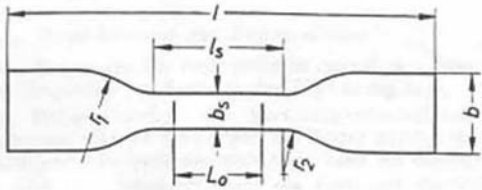
F: Höchstkraft / **d:** Dicke der jeweiligen Teststreifen (ADA-Normvorschlag).

2.4.5 DIN 53 504: Prüfung von Elastomeren (Zugversuch)

Diese Norm steht im Zusammenhang mit der ISO-Empfehlung R 37 - 1957. Bei besonderer *Herstellung* von Probestücken ist die Plattenform zu wählen. Die *Dicke* der Platten soll gleich der Dicke der fertigen Proben sein. Lassen sich die Proben aus Fertigteilen nicht unmittelbar ausschneiden, so sind Platten von entsprechender Dicke herauszuarbeiten, aus denen die Proben zu entnehmen sind.

Probenform

Die Proben sollen wie in der Abbildung dargestellt entnommen werden (Abbildung 2.4-5).



		Normstab		
		S 1 ISO: S 1	S 2 ISO: S 2	S 3
Gesamtlänge, mindestens	l	115	75	50
Breite der Köpfe	b	25	12,5	8,5
Länge des Stegs	l_s	33	25	15
Breite des Stegs	$b_s \pm 0,05$	6	4	4
Übergangshalbmesser, innen	r_1	25	12,5	0
Übergangshalbmesser, außen	r_2	14	8	10
Dicke der Normstäbe	höchstens	3	3	3
Meßlänge	L_0	25	20	10

Abbildung 2.4-5: Darstellung der Normstab („Dumb-Bell piece“) und tabellarische Auflistung ihrer zugelassenen Abmessungen nach DIN 53 504

Probenanzahl

Von den „Normstäben“ sind je drei Proben aus zwei senkrecht zueinanderstehenden Richtungen zu prüfen. Wenn feststellbar, sind diese Richtungen parallel zur Fertigungsrichtung und senkrecht dazu zu wählen.

Parameter der Versuchsdurchführung

Der Versuch wird unter folgenden Vorgaben durchgeführt:

- Bei Gummi.
- Bei Raumtemperatur.

Die Proben müssen vorher mindestens 2 Stunden lang der Raumtemperatur angeglichen worden sein. Die Prüfung soll nicht früher als 16 Stunden, in Schiedsfällen nicht früher als 72 Stunden nach dem Vulkanisieren durchgeführt werden.

Die Meßlänge auf Normstäben nach dem Bild wird durch zwei Markierungen im Abstand **L0** gekennzeichnet. Hierbei darf die Oberfläche nicht verletzt werden.

Bei Einspannen der Normstäbe ist darauf zu achten, daß die Längsachse der Proben in der Zugrichtung liegt.

Bei Normstäben beträgt die *Vorschubgeschwindigkeit* der ziehenden Klamme 200 mm/min.

Es wird die Höchstkraft sowie die Kraft Längenänderung der Probe beim Bruch festgestellt. Nach Möglichkeit ist die Kraft-Längenänderungs-Kurve aufzunehmen.

Versuche an Normstäben, bei denen der Bruch außerhalb der Meßlänge eingetreten ist, werden nicht gewertet (DIN-53504).

2.4.6 ISO 37 - 1977 (E): Rubber, vulcanized - Determination of tensile stress-strain properties

Aus flächigen Probestücken werden Proben wie auf dem Bild gezeigt gestanzt. Die *Dicke* der Probe soll mit einem Meßgerät bestimmt werden. Die Dicke und Breite der Proben sollen höchstens nicht mehr als ± 0.05 mm Meßunsicherheit sein (Abbildung 2.4-6).

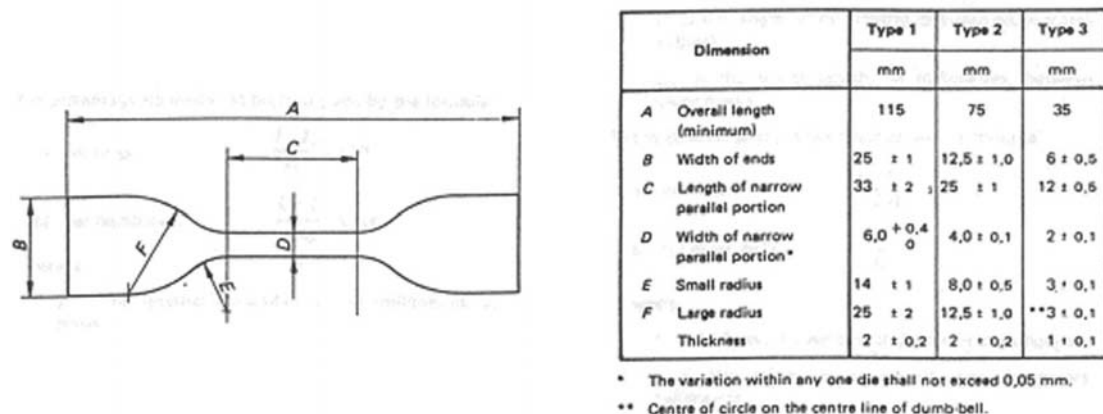


Abbildung 2.4-6: : Darstellung der Normstab („Dumb-Bell piece“) und tabellarische Auflistung ihrer zugelassenen Abmessungen nach Iso 37-1977 (E)

Anzahl der Proben

Zu prüfen sind mindestens 5 Proben.

Versuchsdurchführung

Der Versuch wird durchgeführt:

- bei Gummi
- in Normalklima (23 ± 2 °C oder 27 ± 2 °C).
- die Ursprungslänge zwischen Markierungen soll 25 mm für Typ 1, 20 mm für Typ 2, 10 mm für Typ 3 sein.

Die Probe wird in die obere und untere Einspannklemme der Zugprüfmaschine eingesetzt und mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 500 ± 50 mm/min. gereckt, bis die Probe reißt. Die angezeigte Höchstkraft und die Dicke werden notiert (ISO-37-1977(E) 1977).

2.4.7 ADA WG. 90, NORMVORSCHLAG: ZUGVERSUCH

Die Proben werden aus fertigen Kofferdamfolien nach dem ISO 37 - 1977 (E) entnommen. Die Dicke der Proben soll gleich der Dicke der fertigen Kofferdamfolien sein.

Die Normstäbe (Dumb-Bell Piece) soll in der Mitte des Steges gestanzt werden. Das Loch soll 2.0- 2.5 mm sein (Abbildung 2.4-7).

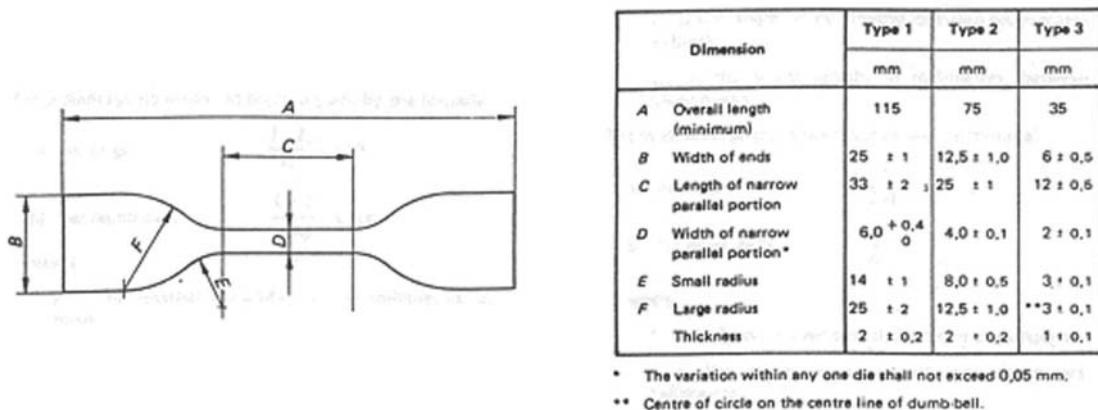


Abbildung 2.4-7: : Darstellung der Normstab („Dumb-Bell piece“) und tabellarische Auflistung ihrer zugelassenen Abmessungen nach ADA WG. 90 Normvorschlag

Anzahl der Proben

Zu prüfen sind mindestens 5 Proben.

Versuchsdurchführung

Der Versuch wird durchgeführt:

- bei Gummi
- in Normalklima (23 ± 2 °C).

Die Ursprungslänge zwischen Markierungen soll 25 mm. Die Probe wird in die obere und untere Einspannklemme der Zugprüfmaschine eingesetzt und mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 500 ± 50 mm/min. gereckt, bis die Probe reißt. Die angezeigte Höchstkraft und die Dicke werden notiert.

Aus den gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet:

$$T_{\text{en}} = F/A$$

F : Bruchkraft

A = [Stegbreite (6mm)-Lochdurchmesser (2mm)]x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (Bruchdehnung) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet:

$$\text{Bruchdehnung} = (L-25)/25 \times 100.$$

L: ist die Meßlänge der gespannten Probe (ADA-Normvorschlag).

2.4.8 ADA WG. 90, Normvorschlag: Relaxationversuch

Die Proben werden aus fertigen Kofferdamfolien nach dem ISO 37 - 1977 (E) entnommen. Die Dicke der Proben soll gleich der Dicke der fertigen Kofferdamfolien sein.

Die Normstäbe „Dumb-Bell Piece“ sollen in der Mitte des Steges gestanzt werden. Das Loch soll 2.0- 2.5 mm sein (Abbildung 2.4-8).

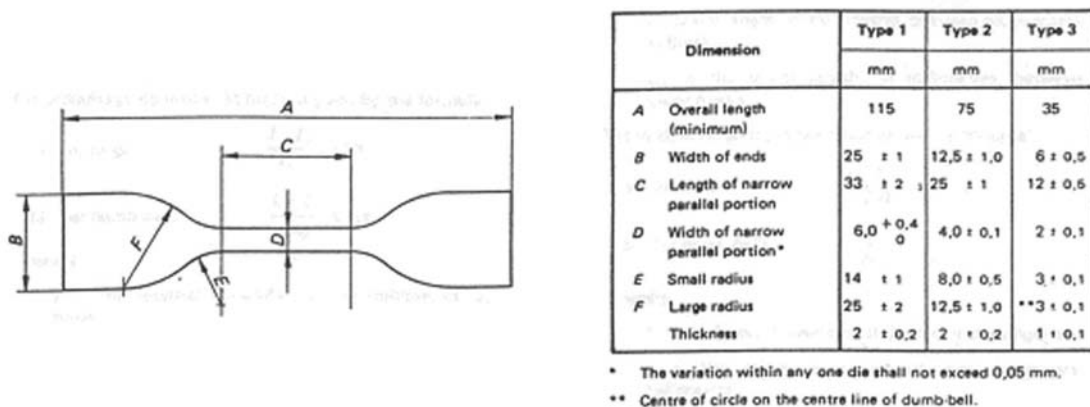


Abbildung 2.4-8: : Darstellung der Normstab („Dumb-Bell piece“) und tabellarische Auflistung ihrer zugelassenen Abmessungen nach ADA WG. 90 Normvorschlag

Anzahl der Proben

Zu prüfen sind mindestens 5 Proben.

Versuchsdurchführung

- bei Latexfolien
- in Normalklima (23 ±1).

Die Ursprungslänge zwischen Markierungen soll 500 mm sein, wenn die Normstäbe nicht gespannt sind. Die Probe wird in die obere und untere Einspannklemme der Zugprüfmaschine eingesetzt und mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 500 ±50 mm/min. gereckt, bis die Kraft der Zugprüfmaschine? Newtons ist, dann soll die Kraft sofort geschrieben werden. Danach soll die Folie 30 Minuten so gespannt bleiben. Nach 30 Minuten Relaxation soll die Kraft noch mal geschrieben werden. Die prozentuale Relaxation wird so gerechnet:

$$(1-L_r/L_s) \times 100$$

L_r ist die Kraft nach 30 Min.

L_s ist die Anfangskraft nach der Spannung der Folie (ADA-Normvorschlag).

2.5 Messung der Retentionskraft von Kofferdamklammern

Zur Zeit gibt es keine internationale Norm über das Thema. Es wurde daher ein Versuchsaufbau der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und präventive Zahnheilkunde erstellt (ZMK 2001) (siehe 3.2.4).

2.6 Interaktion zwischen Kofferdamrahmen, Kofferdamfolien und Kofferdamklammern

Über die Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften hinaus steht allerdings die Frage im Raum, welche Eigenschaften charakteristisch mit einer Eignung der Folien für die klinische Anwendung korrelieren. Überhaupt nicht untersucht ist zudem die Frage, welche Interaktionen zwischen Kofferdamrahmen und deren Geometrie einerseits sowie den Folieneigenschaften andererseits intraoral zu erwarten sind und wie sich diese auf die Stabilität des Kofferdams nach dem Anlegen auf typischerweise zu isolierende Zähne auswirken (Ahlers 2001). Im Rahmen des hierfür neu entwickelten Versuchsaufbaues wird daher versucht, ein Testszenario zu entwickeln, was die Beurteilung dieser Effekte künftig erstmalig ermöglicht (siehe 3.2.4 und 3.1.5)

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchte Materialien und Instrumente

3.1.1 Kofferdamfolien

Die physikalischen Eigenschaften der folgenden Kofferdamfolien werden getestet

No.	Hersteller	Produkt	Qualität	Latex/Non Latex
1.	Sigma Dental	Isodam	mittel	Non latex
2.	Roeko	Dental Dam Silicone	mittel	Non latex
3.	Roeko	Flexi Dam		Non latex
4.	Hygenic	Dental Dam	mittel	Non latex
5.	Roeko	Dental Dam	dünn	latex
6.	Roeko	Dental Dam	mittel	latex
7.	Roeko	Dental Dam	stark	latex
8.	Heraeus Kulzer	Ivory	dünn	latex
9.	Heraeus Kulzer	Ivory	mittel	latex
10.	Heraeus Kulzer	Ivory	stark	latex
11.	Hygenic	Dental Dam Fiesta	dünn	latex
12.	Hygenic	Dental Dam Fiesta	mittel	latex
13.	Hygenic	Dental Dam Fiesta	stark	latex

14.	Kentzler- Kaschner Dental Dam	KKD Kofferdam	dünn	latex
15.	Kentzler- Kaschner Dental Dam	KKD Kofferdam	mittel	latex
16.	Kentzler- Kaschner Dental Dam	KKD Kofferdam	stark	latex
17.	Kentzler- Kaschner Dental Dam	KKD Kofferdam	X-stark	latex
18.	Hager &Werken	Fit Kofferdam-Latex	mittel	latex
19.	Hager &Werken	Fit Kofferdam-Latex	stark	latex
20.	Sigma Dental	Dura Dental Dam	mittel	latex
21.	Sigma Dental	Dura Dental Dam	unbekannt	latex

* = Die Folien sind 1991 hergestellt und seither Normgerecht bei Raumtemperatur und dunkel gelagert.

** = Die Rollen sind 1990 hergestellt seither Normgerecht bei Raumtemperatur und dunkel gelagert.

Aus den oben genannten Kofferdamfolien werden 10 Winkelproben von jedem Produkt für Weiterreißversuch nach der DIN 53 515, ISO 34-1979 (E), ASTM D 624, ADA WG. 90 und 10 Normstäbe von jedem Produkt für Zugversuch und Entspannung nach DIN 53504, ISO 37-1977 (E), ASTM D 624 entnommen (Abbildung 3.1-1)



Abbildung 3.1-1: Handelsübliche Kofferdamfolien als Grundlagen der Versuche

3.1.2 Vorbereitung der Proben für den Weiterreißversuch

Aus flächigen Probestücken werden 10 Winkelproben von jedem Produkt, wie auf dem Bild gezeigt, nach dem ISO 34-1979 (E) und der Empfehlung des ADA WG. 90 gestanzt.

Damit die Einspannlänge der zu untersuchenden Proben eine exakt gleiche Länge aufweist, werden die Proben an beiden Enden, wie auf dem Bild gezeigt, im Abstand von genau 25 mm vom jeweiligen Probenende markiert (Abbildung 3.1-2)



Abbildung 3.1-2: markierte Winkelprobe („Angel Pieces“)

3.1.3 Vorbereitung der Proben für den Zugversuch

Aus flächigen Probestücken werden 10 Normstäbe von jedem Produkt, wie auf dem Bild gezeigt, nach dem ISO 37-1977 (E) und der Empfehlung des ADA WG. 90 gestanzt. Ein Loch wurde auf dem Steg gestanzt, damit diese Prüfmethode auch in kleineren Prüfmaschinen (z.B. „Zwicky“) angepaßt werden kann (Abbildung 3.1-3)



Abbildung 3.1-3: markierter und gestanzter Normstab („Dumb-Bell Probe“)

Zuvor wurden Vorversuche der Normstäbe (Dumb-Bell pieces) ohne Loch durchgeführt, aber die Probe kam nicht zum Riß, da die Universalprüfmaschine sich nicht weit genug ausfahren ließ. Auf Hamburger Initiative hin wurde daher die Lösung mit der kontrollierten Reduktion des Flächenquerschnittes hin in das Protokoll implementiert.

Auch hier wurde bei jedem Teststreifen vom Lochmittelpunkt ausgehend in jeweils 12,5 mm Abstand nach links und nach rechts eine Markierung vorgenommen, so daß zusammen genommen ein markierter Bereich von 25 mm Länge entstand („initial length between gauge marks“).

Während des späteren Dehnens an der Universalprüfmaschine wurde die Dehnungslänge mit einem Meßzirkel abgemessen und an einem Meßlineal abgelesen.

Beim Riß wurde schließlich die Länge mit Hilfe eines Lineals ermittelt.

3.1.4 Untersuchte Kofferdamrahmen

In den Versuchen zum Einfluß der Kofferdamrahmen auf die Spannung der Kofferdamfolien wurden die folgenden Kofferdamrahmen untersucht:

- U-förmiger Kunststoff-Doppelhalbrahmen „**Safe-T-Frame**“ (Sigma Dental Systems - Emasdi GmbH, Jarplund-Weding, Deutschland) mit Klemmeffekt zur Befestigung der Kofferdamfolien (Abbildung 3.1-4).
- U-förmiger Kofferdamrahmen „**Hygenic Master 6**“ (Coltene/Whaledent Dentalvertriebs-GmbH, Konstanz, Deutschland) aus Kunststoff (Abbildung 3.1-5).
- Traditioneller U-förmiger Kofferdamrahmen aus Metall nach YOUNG „**Young**“ (Heraeus Kulzer, Dormagen, Schweden) (Abbildung 3.1-5).
- Ovaler Kunststoff-Klapprahmen nach **Sauveur** (Cadre de Digue) (Abbildung 3.1-4).

Es wurden 4 Kofferdamfolien verschiedener Hersteller mit jedem der oben genannten Kofferdamrahmen untersucht.

Diese Kofferdamfolien sind:

- Ivory (Heraeus Kulzer, Inc., mittel, D-41538 Dormagen, Schweden)
- HYGENIC Dental Dam Fiesta (Coltene/Whaledent Dentalvertriebs GmbH , mittel, Malaysia)
- Dental Dam Latex (Roeko, mittel, D-89122 Langenau, Deutschland)
- Iso Dam Non-Latex Dental Dam (Sigma Dental Systems, Jarplund-Weding, Deutschland)

Die obengenannten Kofferdammfolien waren vor der Aufsetzung auf dem Kofferdamrahmen, wie auf dem Bild gezeigt, markiert, damit sichergestellt war, daß alle Folien exakt in derselben Position mit der minimalsten Spannung auf dem Kofferdamrahmen aufgesetzt wurden (Abbildung 3.1-6)

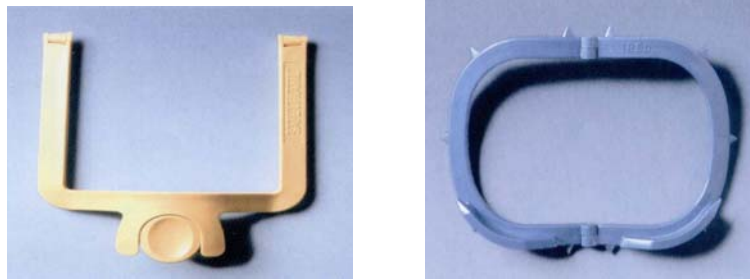


Abbildung 3.1-4: Safe-T-Frame (links) und Sauveur Rahmen (rechts)

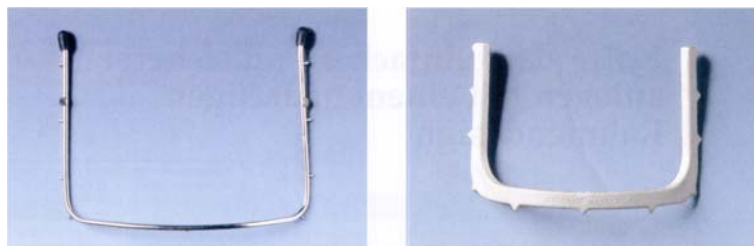


Abbildung 3.1-5: Ivory Rahmen (links) und Hygenic Rahmen (rechts)

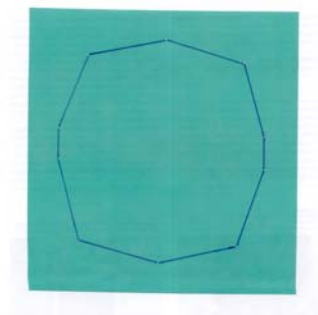
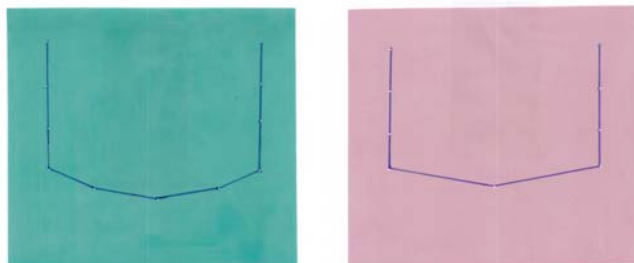


Abbildung 3.1-6: markierte Kofferdamfolien

3.1.5 Prüfgeräte

Meßgerät für die Dicke der Proben

Die Dicke der Proben wurde mit der Mikrometerschraube und einer Genauigkeit von $\pm 0.001\text{mm}$ bestimmt (Abbildung 3.1-7)



Abbildung 3.1-7: Meßgerät für die Dicke

Stanzmesser

Es wurden 2 Stanzmesser nach den Angaben der ISO 34-1979 (E) und ISO 37-1977 Norm und den Angaben des ADA WG. 90 angefertigt (Abbildung 3.1-8)

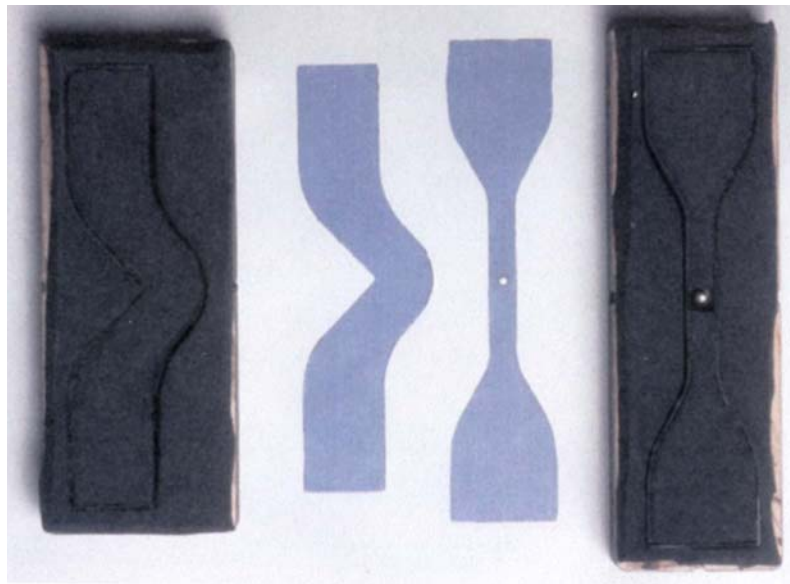


Abbildung 3.1-8: individuell selbst hergestellte Stanzmesser

Prüfmaschine

Zur Untersuchung der Proben wurde die Universalprüfmaschine Zwicky (Fa. Zwick Roell, Ulm) benutzt, die mit Computeranschluß und spezielle Software testXpert (Fa. Zwick Roell, Ulm) zur Aufnahme und Dokumentation der Testergebnisse ausgestattet ist (Abbildung 3.1-9)



Abbildung 3.1-9: Universalprüfmaschine Zwicky (Fa. Zwick Roell, Ulm)

Zum Verfolgen der Längenänderungen der Meßlänge der Proben (Normstäbe) während des Dehnens an der Zwick Maschine wurde die Dehnungslänge mit dem Zirkel abgefahren. Beim Reiß wurde die Länge mit Hilfe eines Lineals ermittelt (Abbildung 3.1-10)



Abbildung 3.1-10: Messung der Dehnungslänge mit Hilfe eines Zirkels

3.2 Prüfmethoden

3.2.1 Messung der Reißfestigkeit der Kofferdamfolien

Die Versuche wurden gemäß ISO 34-1979 (E) und der Empfehlung des ADA WG. 90 durchgeführt. Im Einzelnen wurde dabei wie folgt vorgegangen:

Die Messungen erfolgten bei Kofferdamfolien in Normalklima ($20 \pm 2 \text{ C}^\circ$). Die Dicke der Proben entsprachen der Dicke handelsüblicher Kofferdamfolien gemäß 3.1.1. Die Proben werden in die obere und untere Einspannklemme einer Universalprüfmaschine (Zwicky, Fa. ZwickRoell, Ulm) eingespannt und mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa $500 \pm 50 \text{ mm/min}$ und einer Vorkraft von etwa 0,05 N und bis zum Zerreißen auseinandergezogen. Die angezeigte Zeit und Höchstkraft werden abgelesen.

3.2.2 Messung der Bruchfestigkeit und der Elastizität der Kofferdamfolien

Die Versuche wurden gemäß ISO 37-1977 (E) und der Empfehlung des ADA WG. 90 durchgeführt. Im Einzelnen wurde auch die Folien aus 3.1.1 unter Normalklimabedingungen ($20 \pm 2 \text{ C}^\circ$) vermessen. Auch hier entsprach die Dicke der Proben der Dicke der fertigen Kofferdamfolien; die Universalprüfmaschine und die Vorgehensweise beim Versuch waren identisch wie beim Weiterreißversuch (siehe 3.2.1).

3.2.3 Makro/ Mikroskopische Untersuchungen der Proben

Alle Proben wurden vor der Untersuchung fotografiert und nach der Untersuchung wurden die unregelmäßige gerissene Proben Makro und Mikroskopisch untersucht.

3.2.4 Messung der in vivo zu erwartenden Zugkräfte am Simulator

Für den zweiten Versuchsabschnitt werden auf verschiedene Kofferdamrahmen verschiedener Hersteller Kofferdamfolien befestigt, und zwar nach den Vorgaben der Hersteller. Demnach mußten die Folien zum Teil unter Spannung, zum Teil spannungsfrei an den Kofferdamhaltern befestigt werden. In den Versuchen ohne Phantomkopf wurden die Zugkräfte an der Kofferdamfolie gemessen, unter Fixierung des mit dem Kofferdam isolierten Zahnes. Im darauf folgenden Versuch wurde hingegen der Kofferdamrahmen unter Bedingungen, die der klinischen Applikation entsprachen, in einen Phantomkopf eingesetzt (Firma Kavo, Biberach/Riß). Details zur Durchführung jener selbst entwickelten Versuche sind in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

In allen Fällen wurde die Zugkraft gemessen und danach die Zeit und der Betrag der Extension im Sinne eines Zeit-Weg-Diagramms dokumentiert.

Prüfungsmethode der Zugkraft ohne Phantomkopf

Es wurde zuerst ein Abdruck von dem Zahn 36 des Kavo Kopfs hergestellt und mit Wachs ausgegossen, dann wurde das Wachs in Metall durchgeführt aus der NEM-Legierung Simidur N-1. Die Zusammensetzung der Legierung besteht aus:

- Au 38 %
- Cu 24 %
- Ag 37 %
- Zn 1 %

Nachher wurde ein Block aus Kunststoff für den Zahn 36 hergestellt und der Zahn darauf befestigt (Abbildung 3.2-1)



Abbildung 3.2-1: Zahn aus Simidur N-1 im Kunststoffblock

Der Kunststoffblock wurde in die Einspannbacken der Universalprüfmaschine eingesetzt. Dann wurde die Kofferdammfolie mit der Klammer und dem Kofferdamrahmen in horizontaler Position aufgesetzt.

Der Kofferdamrahmen mit der Kofferdamfolie wurden gezogen, bis die Klammer sich löste. Dokumentiert wurden die Zugkraft bei 37 mm, die Zeit und der Weg (Abbildung 3.2-2)



Abbildung 3.2-2: Kofferdamrahmen in der Zwick

Warum wurde die Zugkraft bei 37 mm gemessen?

Um zu wissen, wie groß die Distanz zwischen der Zahn 36 und den Lippen des imaginären Patienten in etwa sein wird, wurde in einem Vorversuch diese Distanz bei 10 Patienten (5 Frauen, 5 Männern) wie folgt gemessen:

Es wurde eine durchsichtige Platte aus Kunststoff benutzt, in der ein kleines Loch gebohrt war, durch das ein kleiner Stab hindurchpaßte. Dann wurde die Platte mit den Lippen wie, auf dem Bild gezeigt, in Kontakt gebracht, der Stab durch das Loch hindurchgeführt bis zum Zahn 36 (als typischerweise zu behandelnder Seitenzahn). Anschließend wurde der Stab markiert an der kleinen Öffnung und schließlich mit Hilfe eines Lineals die Länge gemessen und dokumentiert.

Das Mittelwert der 10 Ergebnisse betrug 37 mm; aus diesem Grund wurde dann in der Folge die Zugkraft bei einer Extension von 37 mm gemessen (Abbildung 3.2-3).



Abbildung 3.2-3: Messung der Distanz zwischen der Lippen und dem Zahn 36

Prüfungsmethode der Zugkraft mit Phantomkopf

Zur Simulation der klinischen Behandlungssituation und der hierbei auftretenden physikalischen Kräfte in bzw. an der Kofferdamfolie wurde daraufhin in diesem Versuch ein Phantomkopf benutzt. Dieser Phantomkopf wurde zuerst in die unteren Einspannbacken der Universalprüfmaschine eingesetzt und befestigt (Abbildung 3.2-4).

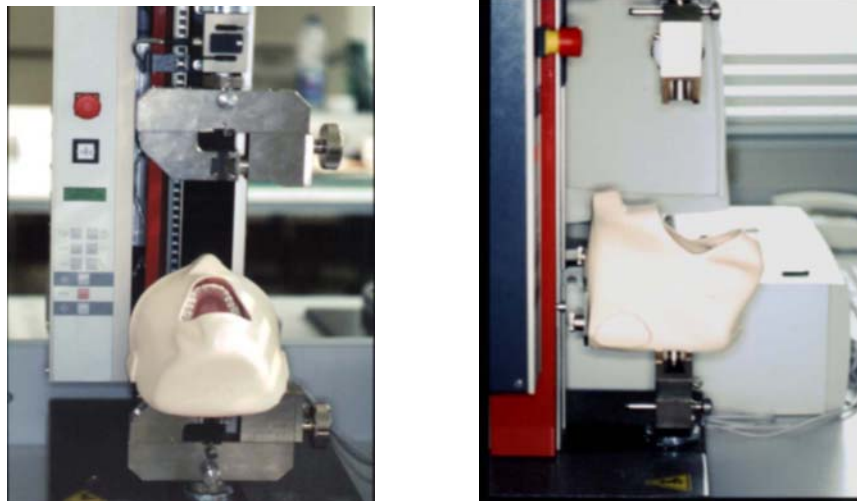


Abbildung 3.2-4: Phantomkopf (Fa. Kavo) an der „Zwicky“

Dann wurde – erneut auf dem Zahn 36 – die Kofferdammfolie mit daran angebrachtem Kofferdamrahmen mit der entsprechenden Klammer befestigt. Der Kofferdamrahmen mit der Kofferdamfolie wurde nun gezogen, bis die Klammer sich löste. Dann wurden die Zugkraft, die Spannung, die Zeit und der Weg dokumentiert (Abbildung 3.2-5).

Eine Ablesung unter einem Korrekturfaktor wie den im vorigen Versuch verwendeten 37 mm war hier nicht notwendig, da die Kofferdamfolie, die mit der Kofferdamklammer auf dem Zahn 36 im Phantomkopf aufgesetzt war, von Anfang wie unter klinischen Bedingungen vorgespannt war, also etwa um den Betrag der zuvor mit ca. 37 mm ermittelten Vordehnung. Da die fragliche Größe in diesem Fall die Dehnung der Kofferdamfolie und die dadurch auf die Kofferdamklammer ausgeübte Kraft waren, wurde hier die Messung der Elongation bei der geringsten meßbaren Spannung von 1 N dokumentiert.

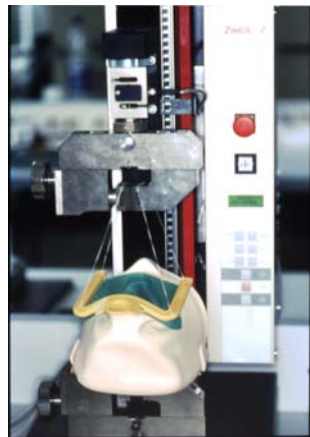


Abbildung 3.2-5: Kofferdamrahmen mit Kofferdamfolie auf dem Phantomkopf

4 Ergebnisse

Analog der Versuchsaufbauten lassen sich die Ergebnisse in 4 verschiedenen Gruppen unterteilen. Diese sind nachfolgend als Kraft-Weg-Diagramme sowie in Form der daraus extrahierten tabellarischen Daten dargestellt.

4.1 Ergebnisse der Bruchfestigkeitsprüfung

Die Ergebnisse der Bruchfestigkeitsprüfungen lassen sich in 23 Untergruppen unterteilen, abhängig von der Folienstärke, dem Folienmaterial, dem Folienalter, und dem Hersteller der Folien.

4.1.1 SDS Dura Dental Dam (Stärken: unbekannt, mittel)

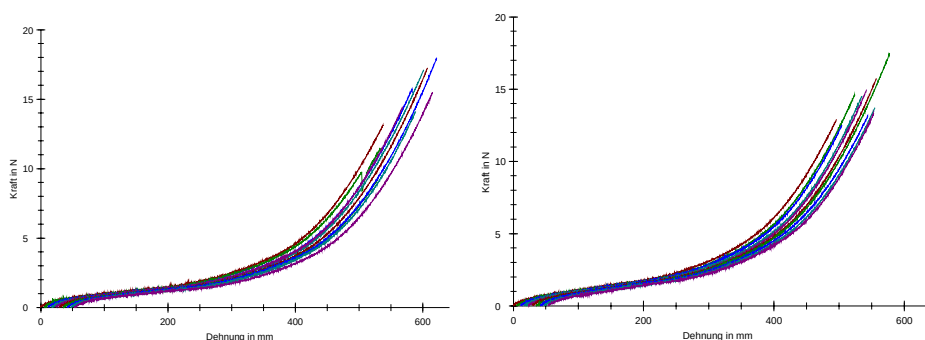


Abbildung 4.1-1: Kraft-Weg-Diagramme für Dura Dental Dam/unbekannte Dicke /Latex (links), Dura Dental Dam/mittel/Latex (rechts)

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben der beiden Gruppen (Dura Dental Dam unbekannter Dicke, Dura Dental Dam mittel) läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich. Einzelne Proben, deren Kurven ungleichmäßig verlaufen (Abbildung 4.1-1), zeigen vor dem Reißpunkt eine Inkontinuität. Diese Unterbrechung der Kurven läßt auf einen plötzlichen Rückgang der Kraft schließen. Die Ursache dürfte in einem teilweisen

Riß begründet sein, der sich später fortsetzte. Hiefür sprechen auch die mikroskopischen Befunden der Rißkanten (S. 3.2.3).

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Proben Nr. 4, 6 und 8 der Gruppe Dura Dental Dam/unbekannte Dicke/Latex sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.1-2).

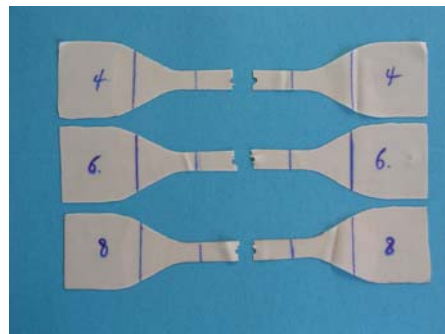


Abbildung 4.1-2: Unregelmäßiger Riß bei Dura Dental Dam/unbekannter Dicke/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-1, Tabelle 4.1-2)

Ten = F/A , hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittsfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet:

Bruchdehnung = $[(L-L_0)/L_0] \times 100$

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	13,13	0,194	0,78	16,92	25	222	788
2	11,45	0,194	0,78	14,76	25	224	796
3	15,74	0,187	0,75	21,04	25	233	832
4	17,11	0,185	0,74	23,12	25	239	856
5	14,45	0,179	0,72	20,18	25	223	792
6	17,19	0,181	0,72	23,74	25	231	824
7	09,36	0,184	0,74	12,72	25	205	720
8	17,97	0,187	0,75	24,02	25	235	840
9	14,11	0,185	0,74	19,07	25	221	784
10	15,51	0,188	0,75	20,63	25	229	816
Mittelwert	14,60	0,186	0,75	19,62		226,2	804,8
Standard-abweichung	2,72	0,005	0,02	3,81		9,59	38,36

Tabelle 4.1-1: Bruchfestigkeit von Dura Dental Dam/unbekannte Dicke/Latex

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	12,91	0,177	0,71	18,23	25	209	736
2	14,61	0,184	0,74	19,85	25	216	764
3	12,51	0,186	0,74	16,81	25	205	720
4	14,51	0,187	0,75	19,40	25	212	748
5	14,95	0,186	0,74	20,09	25	209	736
6	15,74	0,183	0,73	21,50	25	203	712
7	17,48	0,185	0,74	23,62	25	224	796
8	13,11	0,184	0,74	17,81	25	204	716
9	13,72	0,179	0,72	19,16	25	203	712
10	13,33	0,181	0,72	18,41	25	212	748
Mittelwert	14,29	0,18	0,73	19,49		209,7	738,8
Standard-abweichung	1,51	0,003	0,013	1,96		6,67	26,67

Tabelle 4.1-2: Bruchfestigkeit von Dura Dental Dam/mittel/Latex

4.1.2 Ivory Dental Dam (Stärken: dünn, mittel, stark)

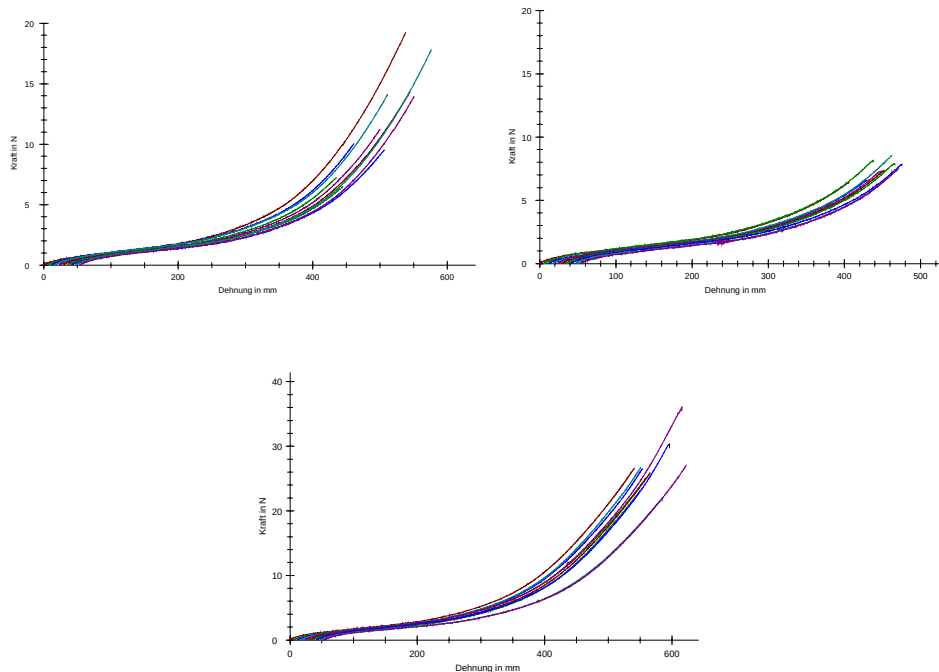


Abbildung 4.1-3: Kraft-Weg-Diagramme für Ivory/alle Latex/dünn (links oben)/mittel (rechts oben)/ stark (unten)

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.1-3). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslängen.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Proben Nr. 1,6 und 10 der Gruppe Ivory/dünn/Latex und die Proben Nr. 1, 3, 4, 6, 7 und 10 der Gruppe Ivory/stark/latex sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.1-4, Abbildung 4.1-5)

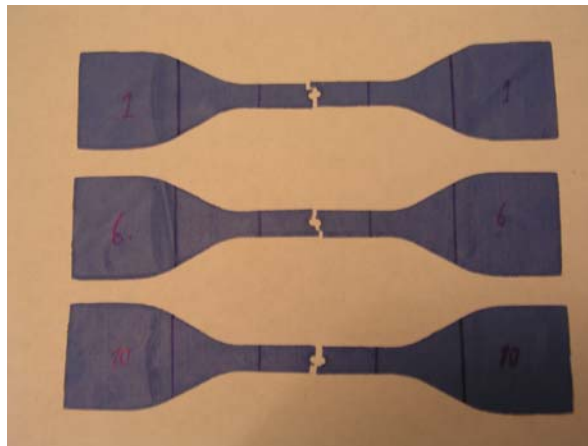


Abbildung 4.1-4: Unregelmäßiger Riß bei Ivory/dünn/Latex



Abbildung 4.1-5: Unregelmäßiger Riß bei Ivory/stark/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit erneut wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-3, Tabelle 4.1-4, Tabelle 4.1-5):

Ten = F/A , hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet: **Bruchdehnung** = $[(L-L_0)/L_0] \times 100$

Probennummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der untersuchten Proben	A=Querschnittsfläche (Area)	F/A=Bruchfestigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	19,25	0,18	0,72	26,74	25	228	812
2	7,24	0,165	0,66	10,97	25	170	580
3	10,06	0,175	0,70	14,37	25	190	660
4	14,14	0,175	0,70	20,20	25	209	736
5	11,21	0,164	0,66	17,09	25	205	720
6	14,32	0,166	0,66	21,57	25	215	760
7	6,49	0,165	0,66	9,83	25	190	660
8	9,50	0,165	0,66	14,39	25	192	668
9	17,84	0,178	0,71	25,06	25	218	772
10	13,97	0,175	0,70	19,96	25	205	720
Mittelwert	12,4	0,17	0,68	18,02		202,2	708,8
Standardabweichung	4,25	0,006	0,025	5,685		16,930	67,720

Tabelle 4.1-3: Bruchfestigkeit von Ivory/dünn/Latex/Ch.-B. 5725010 Ra/98

Probennummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der untersuchten Proben	A=Querschnittsfläche (Area)	F/A=Bruchfestigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	6,41	0,21	0,84	7,63	25	184	636
2	8,10	0,223	0,89	9,08	25	192	668
3	6,55	0,22	0,88	7,44	25	186	644
4	8,51	0,22	0,88	9,67	25	192	668
5	7,30	0,226	0,90	8,08	25	183	632
6	7,33	0,221	0,88	8,29	25	184	636
7	7,90	0,22	0,88	8,98	25	186	644
8	7,85	0,21	0,84	9,35	25	187	648
9	7,36	0,21	0,84	8,76	25	180	620
10	7,52	0,21	0,84	8,95	25	183	632
Mittelwert	7,48	0,22	0,87	8,62		185,7	642,8
Standardabweichung	0,65	0,006	0,024	0,736		3,86	15,44

Tabelle 4.1-4: Bruchfestigkeit von Ivory/mittel/latex/Ch.-B. 5725011 R3/00

Probennummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der untersuchten Proben	A=Querschnittsfläche (Area)	F/A= Bruchfestigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	26,64	0,278	1,11	23,96	25	216	764
2	25,13	0,27	1,08	23,27	25	214	756
3	26,56	0,27	1,08	24,59	25	207	728
4	26,76	0,277	1,11	24,15	25	205	720
5	36,10	0,278	1,11	32,46	25	210	740
6	25,93	0,267	1,07	24,28	25	208	732
7	23,21	0,266	1,06	21,81	25	207	728
8	30,37	0,275	1,10	27,61	25	211	744
9	21,94	0,277	1,11	19,80	25	215	760
10	27,07	0,26	1,04	26,03	25	216	764
Mittelwert	26,97	0,27	1,08	24,8		210,9	743,6
Standardabweichung	3,93	0,006	0,025	3,429		4,122	16,487

Tabelle 4.1-5: Bruchfestigkeit von Ivory /Heavy//Latex Ch.-B. 57250 IK

4.1.3 Hygenic Dental Dam (neu)

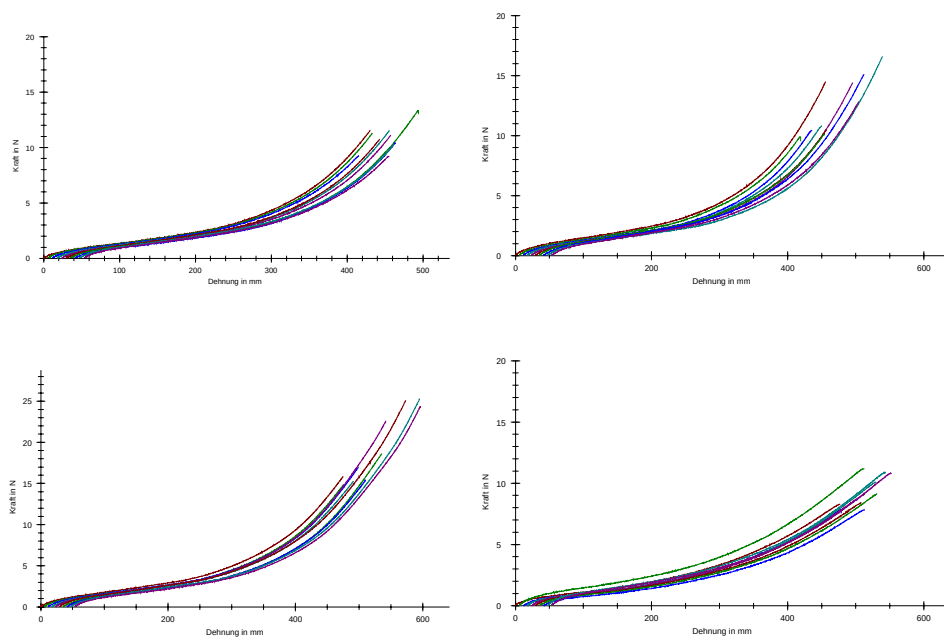


Abbildung 4.1-6: Kraft-Weg-Diagramme für Hygenic/dünn (links oben), mittel (rechts oben), stark (links unten)/Latex, Hygenic /mittel/Non Latex (rechts unten)

Verlauf des Kraftweg

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt auch hier eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.1-6). Der Kurvenverlauf der einzelnen Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslängen.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Probe Nr. 7 der Gruppe Hygenic/dünn/latex und die Probe Nr. 8 der Gruppe Hygenic/mittel/latex und die Proben Nr. 5, 6, 7, 8, 9 und 10 der Gruppe Hygenic/stark/latex sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.1-7, Abbildung 4.1-8, Abbildung 4.1-9).



Abbildung 4.1-7: Unregelmäßiger Riß bei Hygenic/dünn/Latex



Abbildung 4.1-8: Unregelmäßiger Riß bei Hygenic/mittel/Latex



Abbildung 4.1-9: Unregelmäßiger Riß bei Hygenic/stark/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Auch aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-6, Tabelle 4.1-7, Tabelle 4.1-8, Tabelle 4.1-9):

Ten = **F/A**, hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittsfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet:

$$\text{Bruchdehnung} = [(L-L_0)/L_0] \times 100$$

Probennummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der untersuchten Proben	A=Querschnittsfläche (Area)	F/A= Bruchfestigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-L ₀)/L ₀] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	11,54	0,193	0,77	14,95	25	195	680
2	11,27	0,189	0,76	14,91	25	185	640
3	9,22	0,196	0,78	11,76	25	182	628
4	11,51	0,178	0,71	16,17	25	188	652
5	11,09	0,188	0,75	14,75	25	182	628
6	10,69	0,197	0,79	13,57	25	182	628
7	13,36	0,18	0,72	18,56	25	194	676
8	10,43	0,19	0,76	13,72	25	187	648
9	10,16	0,195	0,78	13,03	25	181	624
10	9,20	0,195	0,78	11,79	25	179	616
Mittelwert	10,85	0,19	0,76	14,32		185,5	642
Standard-Abweichung	1,22	0,007	0,027	2,051		5,48	21,93

Tabelle 4.1-6: Bruchfestigkeit von Hygenic Dental Dam/dünn/Latex

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-Lo)/Lo] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	14,50	0,21	0,84	17,26	25	188	652
2	9,91	0,224	0,90	11,06	25	180	620
3	10,45	0,216	0,86	12,09	25	182	628
4	10,80	0,216	0,86	12,50	25	184	636
5	14,40	0,22	0,88	16,36	25	192	668
6	10,49	0,215	0,86	12,20	25	187	648
7	10,10	0,229	0,92	11,03	25	179	616
8	15,10	0,207	0,83	18,24	25	198	692
9	16,62	0,207	0,83	20,07	25	205	720
10	12,78	0,228	0,91	14,01	25	185	640
Mittelwert	12,51	0,21	0,87	14,48		188	652
Standard-Abweichung	2,47	0,008	0,032	3,254		8,246	32,985

Tabelle 4.1-7: Bruchfestigkeit von Hygenic Dental Dam/mittel/Latex

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-Lo)/Lo] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	15,83	0,276	1,10	14,34	25	194	676
2	14,87	0,25	1,00	14,87	25	189	656
3	17,01	0,27	1,08	15,75	25	192	668
4	15,30	0,255	1,02	15,00	25	192	668
5	22,59	0,277	1,11	20,39	25	202	708
6	25,12	0,274	1,10	22,92	25	209	736
7	18,64	0,251	1,00	18,57	25	202	708
8	15,44	0,255	1,02	15,14	25	195	680
9	25,28	0,265	1,06	23,85	25	209	736
10	24,37	0,271	1,08	22,48	25	208	732
Mittelwert	19,44	0,26	1,05	18,33		199,2	696,8
Standard-Abweichung	4,4	0,011	0,043	3,784		7,729	30,915

Tabelle 4.1-8: Bruchfestigkeit von Hygenic Dental Dam/stark/Latex

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter- suchten Proben	A=Quer- schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch- festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-Lo)/Lo] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	8,30	0,295	1,18	7,03	25	212	748
2	11,20	0,295	1,18	9,49	25	217	768
3	7,88	0,295	1,18	6,68	25	204	716
4	10,09	0,295	1,18	8,55	25	208	732
5	9,12	0,293	1,17	7,78	25	204	716
6	8,39	0,3	1,20	6,99	25	204	716
7	9,12	0,3	1,20	7,60	25	212	748
8	7,84	0,305	1,22	6,43	25	202	708
9	10,90	0,3	1,20	9,08	25	207	728
10	10,84	0,309	1,24	8,77	25	207	728
Mittelwert	9,37	0,30	1,2	7,84		207,7	730,8
Standard- Abweichung	1,3	0,01	0,02	1,08		4,69	18,77

Tabelle 4.1-9: Bruchfestigkeit von Hygenic Dental Dam/mittel/Non Latex

4.1.4 Hygenic Dental Dam (alt)

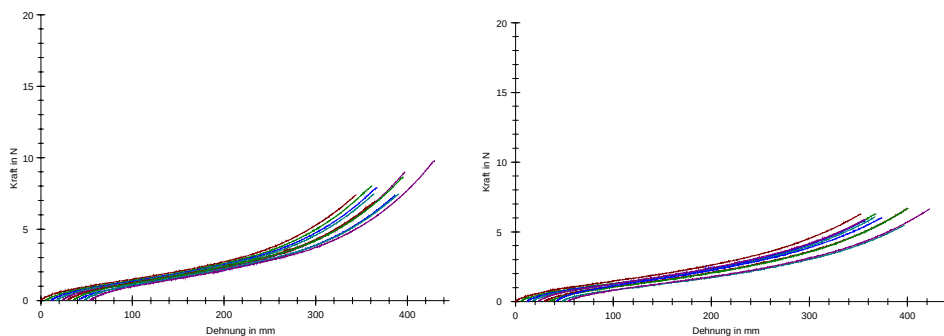


Abbildung 4.1-10: Kraft-Weg-Diagramme für Hygenic/mittel/11 Jahre alt/Latex (links), Hygenic/mittel/10 Jahre alt/Latex (rechts)

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.1-10). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslänge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Alle Proben sind regelmäßig gerissen.

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-10, Tabelle 4.1-11):

Ten = **F/A**, hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittsfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet:

$$\text{Bruchdehnung} = [(L-L_0)/L_0] \times 100$$

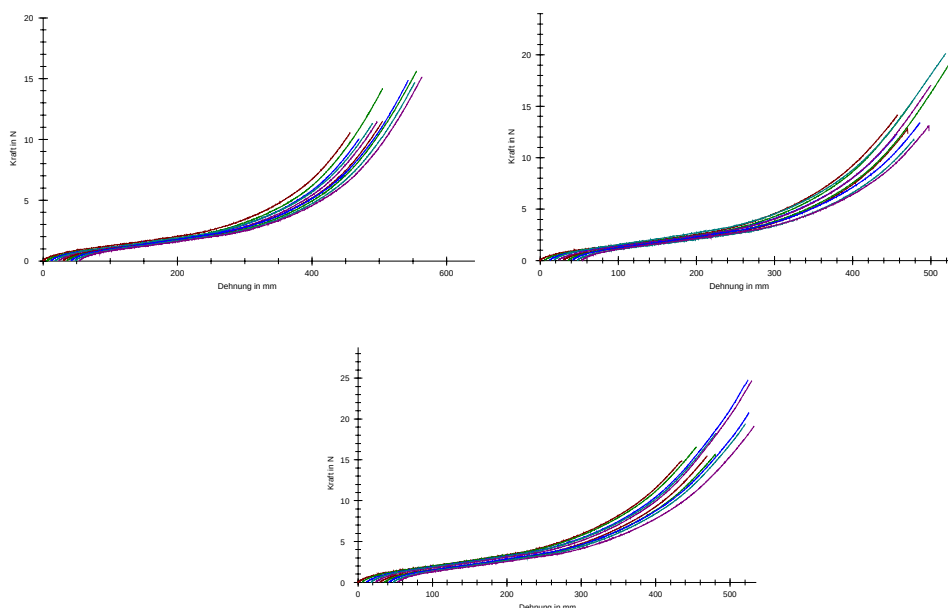
Probennummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der untersuchten Proben	A=Querschnittsfläche (Area)	F/A= Bruchfestigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-L ₀)/L ₀] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	7,39	0,22	0,88	8,40	25	164	556
2	8,03	0,212	0,85	9,47	25	166	564
3	7,89	0,22	0,88	8,97	25	164	556
4	7,47	0,215	0,86	8,69	25	156	524
5	8,96	0,222	0,89	10,09	25	169	576
6	6,91	0,218	0,87	7,92	25	159	536
7	8,62	0,21	0,84	10,26	25	160	540
8	7,33	0,214	0,86	8,56	25	160	540
9	7,43	0,22	0,88	8,44	25	159	536
10	9,76	0,218	0,87	11,19	25	169	576
Mittelwert	7,98	0,22	0,87	9,2		162	550,4
Standard-Abweichung	0,88	0,004	0,015	1,029		4,477	17,908

**Tabelle 4.1-10: Bruchfestigkeit von Hygenic Dental Dam/mittel/Latex/
Produktion: 12.05.1990**

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter- suchten Proben	A=Quer- schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch- festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-Lo)/Lo] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	6,25	0,256	1,02	6,10	25	170	580
2	6,30	0,237	0,95	6,65	25	170	580
3	5,79	0,23	0,92	6,29	25	165	560
4	6,07	0,243	0,97	6,25	25	170	580
5	5,89	0,26	1,04	5,66	25	166	564
6	6,62	0,23	0,92	7,20	25	170	580
7	6,69	0,234	0,94	7,15	25	171	584
8	5,99	0,253	1,01	5,92	25	162	548
9	5,48	0,22	0,88	6,23	25	165	560
10	6,66	0,234	0,94	7,12	25	174	596
Mittelwert	6,17	0,24	0,96	6,46		168,3	573,2
Standard- Abweichung	0,4	0,013	0,051	0,546		3,622	14,490

**Tabelle 4.1-11: Bruchfestigkeit von Hygenic Dental Dam/mittel/Latex/
Produktion: 14.03.1991**

4.1.5 Roeko Dental Dam (dünn, mittel, stark)



**Abbildung 4.1-11: Kraft-Weg-Diagramme für Roeko/alle Latex/dünn (links oben), mit-
tel (rechts oben), stark (unten)**

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt auch hier eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.1-11). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslänge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Proben Nr. 5, 7, 8, 9 und 10 der Gruppe Roeko/dünn/latex und die Proben Nr. 1 und 4 der Gruppe Roeko/mittel/latex und die Proben Nr. 3, 7 und 9 der Gruppe Roeko/stark/latex sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.1-12, Abbildung 4.1-13, Abbildung 4.1-14).



Abbildung 4.1-12: Unregelmäßiger Riß bei Roeko/dünn/Latex

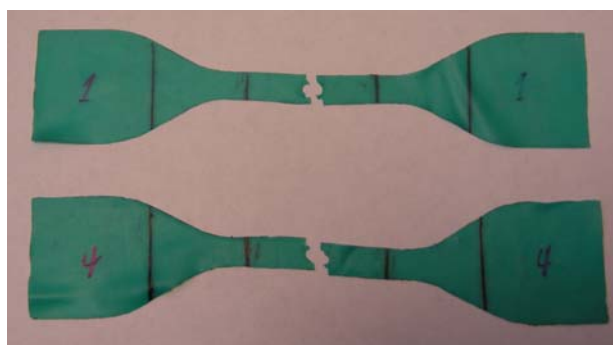


Abbildung 4.1-13: Unregelmäßiger Riß bei Roeko/mittel/Latex

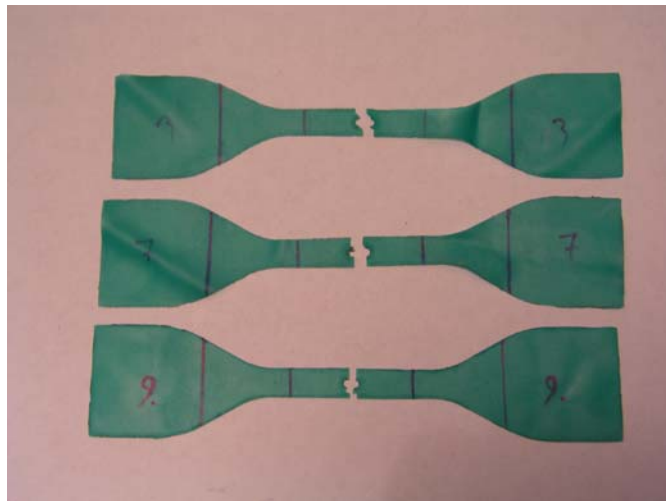


Abbildung 4.1-14: Unregelmäßiger Riß bei Roeko/stark/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-12, Tabelle 4.1-13, Tabelle 4.1-14):

Ten = F/A , hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet:

$$\text{Bruchdehnung} = [(L-L_0)/L_0] \times 100$$

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	10,56	0,195	0,78	13,54	25	199	696
2	14,19	0,172	0,69	20,63	25	207	728
3	10,06	0,177	0,71	14,21	25	193	672
4	11,33	0,187	0,75	15,15	25	195	680
5	11,46	0,186	0,74	15,40	25	195	680
6	11,52	0,19	0,76	15,16	25	198	692
7	15,60	0,178	0,71	21,91	25	208	732
8	14,87	0,197	0,79	18,87	25	205	720
9	14,69	0,185	0,74	19,85	25	198	692
10	15,15	0,195	0,78	19,42	25	204	716
Mittelwert	12,94	0,19	0,75	17,41		200,20	700,8
Standard-Abweichung	2,14	0,008	0,034	3,022		5,391	21,565

Tabelle 4.1-12: Bruchfestigkeit von Roeko/dünn/Latex/Ch.-B. 390020

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	14,15	0,222	0,89	15,93	25	190	660
2	15,41	0,216	0,86	17,84	25	192	668
3	12,27	0,214	0,86	14,33	25	183	632
4	20,12	0,234	0,94	21,50	25	202	708
5	17,04	0,228	0,91	18,68	25	196	684
6	12,31	0,213	0,85	14,45	25	185	640
7	19,44	0,227	0,91	21,41	25	198	692
8	13,36	0,237	0,95	14,09	25	185	640
9	11,6	0,224	0,90	12,95	25	181	624
10	12,58	0,227	0,91	13,85	25	188	652
Mittelwert	14,95	0,22	0,9	16,50		190	660
Standard-Abweichung	2,98	0,008	0,034	3,16		6,92	27,71

Tabelle 4.1-13: Bruchfestigkeit von Roeko/mittel/Latex/Ch.-B. 390021

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter- suchten Proben	A=Quer- schnittsfläche (Area)	F/A=Bruch- festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-Lo)/Lo] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	14,90	0,27	1,08	13,80	25	180	620
2	16,57	0,28	1,12	14,79	25	185	640
3	24,79	0,28	1,12	22,13	25	193	672
4	18,23	0,285	1,14	15,99	25	185	640
5	24,70	0,285	1,14	21,67	25	202	708
6	15,49	0,272	1,09	14,24	25	185	640
7	15,66	0,275	1,10	14,24	25	181	624
8	20,78	0,284	1,14	18,29	25	192	668
9	19,44	0,282	1,13	17,23	25	189	656
10	19,16	0,278	1,11	17,23	25	190	660
Mittelwert	18,97	0,28	1,12	16,96		188,20	652,8
Standard- Abweichung	3,59	0,005	0,022	3,005		6,512	26,046

Tabelle 4.1-14: Bruchfestigkeit von Roeko/stark/Latex/Ch.-B. 390022

4.1.6 Roeko Dental Dam (Non Latex)

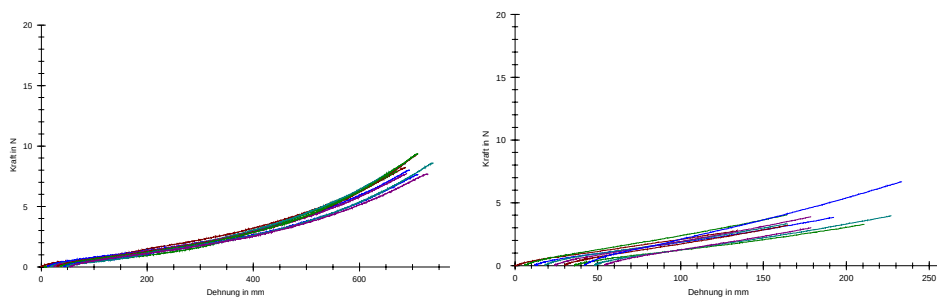


Abbildung 4.1-15: Kraft-Weg-Diagramme für Roeko Flexi Dam/Stärke K. A/Non Latex (links), Roeko/mittel/Non Latex (rechts)

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt auch hier eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist sehr flach S-förmig bei der Roeko Flexi Dam Proben, flach gradlinig bei den Roeko/mittel/Non Latex-Proben und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.1-15). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufsängen.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Probe Nr. 8 bei der Roeko/mittel/Non Latex hat ungleichmäßiger Riß (Abbildung 4.1-16).

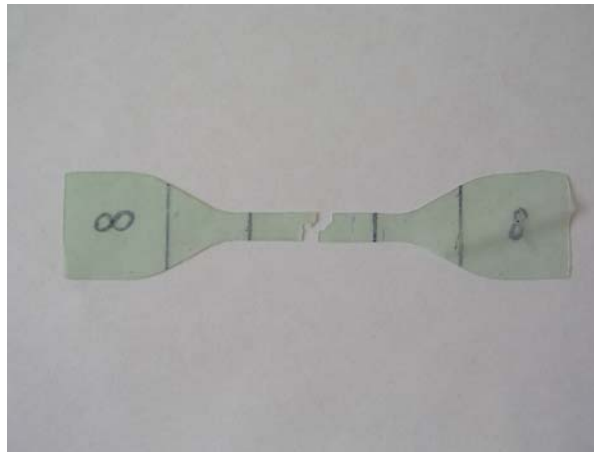


Abbildung 4.1-16: Ungleichmäßiger Riß der Probe Nr. 8/Roeko/mittel/Non Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-15, Tabelle 4.1-16):

Ten = **F/A**, hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet:

$$\text{Bruchdehnung} = [(L-L_0)/L_0] \times 100$$

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	8,22	0,521	2,08	3,94	25,00	242,00	868,00
2	7,92	0,508	2,03	3,90	25,00	248,00	892,00
3	8,01	0,518	2,07	3,87	25,00	266,00	964,00
4	8,58	0,516	2,06	4,16	25,00	263,00	952,00
5	7,71	0,501	2,00	3,85	25,00	263,00	952,00
6	9,24	0,519	2,08	4,45	25,00	266,00	964,00
7	9,35	0,523	2,09	4,47	25,00	265,00	960,00
8	7,65	0,511	2,04	3,74	25,00	261,00	944,00
9	8,60	0,506	2,02	4,25	25,00	263,00	952,00
10	7,67	0,522	2,09	3,67	25,00	267,00	968,00
Mittelwert	8,30	0,51	2,06	4,03		260,4	941,60
Standard-Abweichung	0,63	0,008	0,032	0,285		8,435	33,742

Tabelle 4.1-15: Bruchfestigkeit von Roeko Flexi Dam/Stärke K. A/Non Latex/Ch.-B. REF 390035

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	2,76	0,24	0,96	2,88	25	85	240
2	4,05	0,251	1,00	4,03	25	96	284
3	3,83	0,22	0,88	4,35	25	108	332
4	3,33	0,23	0,92	3,62	25	90	260
5	3,88	0,277	1,11	3,50	25	94	276
6	3,20	0,278	1,11	2,88	25	85	240
7	3,28	0,2	0,80	4,10	25	105	320
8	6,67	0,366	1,46	4,56	25	106	324
9	3,96	0,25	1,00	3,96	25	104	316
10	3,00	0,277	1,11	2,71	25	84	236
Mittelwert	3,8	0,26	1,04	3,66		95,70	282,8
Standard-Abweichung	1,1	0,046	0,182	0,654		9,511	38,043

Tabelle 4.1-16: Bruchfestigkeit von Roeko/mittel/Non Latex/Ch.-B. 390030

4.1.7 Hager & Werken Fit Kofferdam

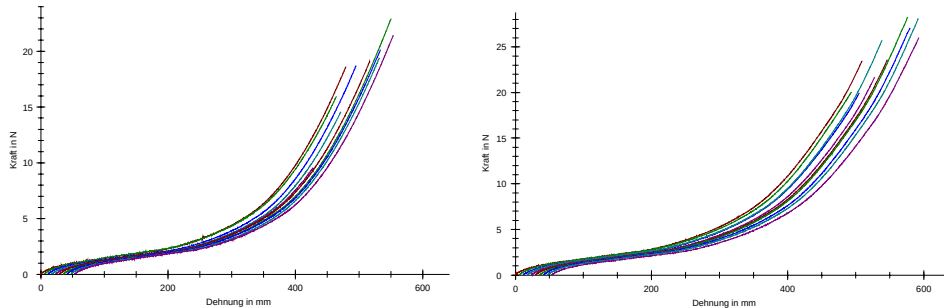


Abbildung 4.1-17: Kraft-Weg-Diagramme für Fit Kofferdam/mittel /Latex (links), Fit Kofferdam/stark/Latex (rechts)

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt auch hier eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.1-17). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufs-länge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Probe Nr. 7 der Gruppe Fit Kofferdam/mittel/latex und die Proben Nr. 1, 2, 4, 5 und 8 der Gruppe Fit Kofferdam/stark/Latex sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.1-18, Abbildung 4.1-19).



Abbildung 4.1-18: Unregelmäßiger Riß bei Fit Kofferdam/mittel/Latex

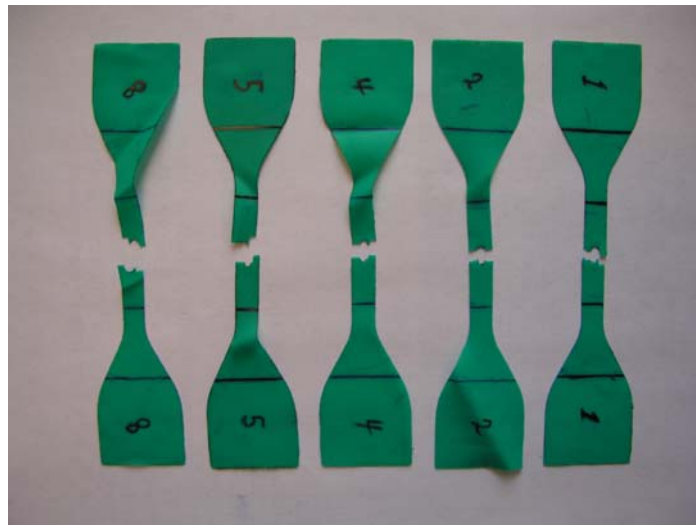


Abbildung 4.1-19: Unregelmäßiger Riß bei Fit Kofferdam/stark/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-17, Tabelle 4.1-18):

Ten = **F/A**, hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet:

$$\text{Bruchdehnung} = [(L-L_0)/L_0] \times 100$$

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter- suchten Proben	A=Quer- schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch- festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-Lo)/Lo] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	18,60	0,225	0,90	20,67	25	199	696
2	15,95	0,235	0,94	16,97	25	197	688
3	18,68	0,225	0,90	20,76	25	206	724
4	14,57	0,225	0,90	16,19	25	191	664
5	9,56	0,223	0,89	10,72	25	180	620
6	19,08	0,230	0,92	20,74	25	200	700
7	22,91	0,228	0,91	25,12	25	205	720
8	20,13	0,229	0,92	21,98	25	204	716
9	19,40	0,224	0,90	21,65	25	199	696
10	21,43	0,228	0,91	23,50	25	205	720
Mittelwert	18,03	0,23	0,91	19,83		198,6	694,4
Standard- Abweichung	3,82	0,004	0,014	4,166		7,989	31,956

Tabelle 4.1-17: Bruchfestigkeit von Fit Kofferdam/mittel/Latex/Ch.-B. 355335

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter- suchten Proben	A=Quer- schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch- festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-Lo)/Lo] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	23,48	0,286	1,14	20,52	25	204	716
2	20,08	0,281	1,12	17,86	25	198	692
3	19,95	0,276	1,10	18,07	25	193	672
4	25,74	0,276	1,10	23,32	25	201	704
5	21,70	0,275	1,10	19,73	25	199	696
6	23,59	0,275	1,10	21,45	25	202	708
7	28,27	0,286	1,14	24,71	25	210	740
8	27,09	0,284	1,14	23,85	25	208	732
9	28,09	0,275	1,10	25,54	25	209	736
10	26,02	0,27	1,08	24,09	25	211	744
Mittelwert	24,4	0,28	1,11	24,82		203,5	714
Standard- Abweichung	3,12	0,005	0,021	2,780		5,949	23,795

Tabelle 4.1-18: Bruchfestigkeit von Fit Kofferdarm/stark/Latex/Ch.-B. 355336

4.1.8 Kenzler Kaschner KKD Sympatic Dam

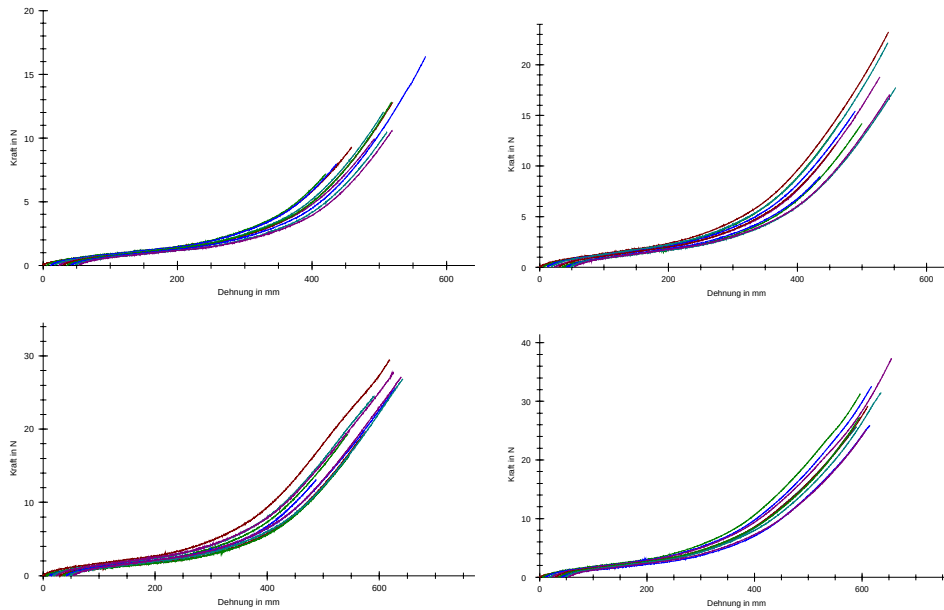


Abbildung 4.1-20: Kraft-Weg-Diagramme für KKD/alle Latex/dünn (links oben), KKD mittel (rechts oben), KKD/stark (links unten), KKD/extra stark (rechts unten)

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.1-20). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslänge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Probe Nr. 8 der Gruppe KKD/dünn/latex und die Proben Nr. 6, 8 und 9 der Gruppe KKD/stark/latex und die Proben Nr. 1, 5 und 8 der Gruppe KKD Sympatic Dam extra stark 72/Latex Gruppe sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.1-23).



Abbildung 4.1-21: Unregelmäßiger Riß der Probe Nr. 8 KKD/dünn/Latex

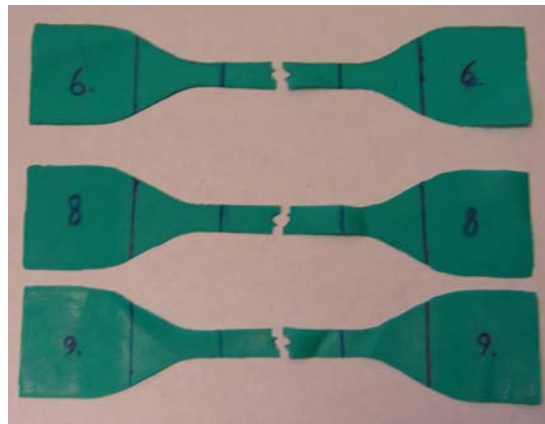


Abbildung 4.1-22: Unregelmäßiger Riß der Proben KKD/stark/Latex



Abbildung 4.1-23: Unregelmäßiger Riß der Proben KKD/extra stark/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-19, Tabelle 4.1-20, Tabelle 4.1-21, Tabelle 4.1-22):

Ten = F/A , hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittsfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet: **Bruchdehnung** = $[(L-L_0)/L_0] \times 100$

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	9,28	0,178	0,71	13,03	25	196	684
2	7,20	0,170	0,68	10,59	25	181	624
3	7,96	0,171	0,68	11,64	25	185	640
4	12,05	0,168	0,67	17,93	25	199	696
5	9,93	0,168	0,67	14,78	25	197	688
6	12,80	0,177	0,71	18,08	25	200	700
7	12,83	0,182	0,73	17,62	25	200	700
8	16,41	0,173	0,69	23,71	25	210	740
9	10,45	0,166	0,66	15,74	25	194	676
10	10,59	0,186	0,74	14,23	25	196	684
Mittelwert	10,95	0,17	0,69	15,74		195,8	683,2
Standard-Abweichung	2,69	0,007	0,027	3,818		8,080	32,321

Tabelle 4.1-19: Bruchfestigkeit von KKD Sympatic Dam/dünn/Latex/Ch.-B. 5351915

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	23,22	0,255	1,02	22,76	25	211	744
2	14,36	0,23	0,92	15,61	25	191	664
3	15,43	0,254	1,02	15,19	25	185	640
4	22,17	0,259	1,04	21,40	25	207	728
5	18,77	0,259	1,04	18,12	25	203	712
6	12,04	0,254	1,02	11,85	25	187	648
7	14,20	0,244	0,98	14,55	25	191	664
8	8,97	0,26	1,04	8,63	25	174	596
9	17,72	0,228	0,91	19,43	25	203	712
10	17,01	0,252	1,01	16,88	25	195	680
Mittelwert	16,39	0,25	1	16,44		194,7	678,8
Standard-Abweichung	4,37	0,012	0,048	4,274		11,373	45,492

Tabelle 4.1-20: Bruchfestigkeit von KKD Sympatic Dam/mittel/latex/Ch.-B. REF 07121

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	29,45	0,274	1,10	26,87	25	211	744
2	19,25	0,222	0,89	21,68	25	212	748
3	13,11	0,200	0,80	16,39	25	197	688
4	24,56	0,275	1,10	22,33	25	217	768
5	27,78	0,285	1,14	24,37	25	217	768
6	19,67	0,238	0,95	20,66	25	210	740
7	16,45	0,228	0,91	18,04	25	207	728
8	25,66	0,250	1,00	25,66	25	219	776
9	26,85	0,220	0,88	30,51	25	231	824
10	27,14	0,276	1,10	24,58	25	227	808
Mittelwert	22,99	0,25	0,99	23,11		214,8	759,2
Standard-Abweichung	5,49	0,029	0,118	4,199		9,784	39,137

**Tabelle 4.1-21: Bruchfestigkeit von KKD Sympatic Dam/stark/Latex/Ch.-B.
9002**

Proben-nummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der unter-suchten Proben	A=Quer-schnittsfläche (Area)	F/A= Bruch-festigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] $[(L-L_0)/L_0] \times 100$
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	24,94	0,285	1,14	21,88	25	218	772
2	31,33	0,377	1,51	20,78	25	212	748
3	32,60	0,35	1,40	23,29	25	218	772
4	25,66	0,33	1,32	19,44	25	215	760
5	37,34	0,384	1,54	24,31	25	220	780
6	29,22	0,373	1,49	19,58	25	203	712
7	27,27	0,381	1,52	17,89	25	208	732
8	25,89	0,32	1,28	20,23	25	207	728
9	31,48	0,345	1,38	22,81	25	219	776
10	25,14	0,334	1,34	18,82	25	209	736
Mittelwert	29,09	0,35	1,39	20,90		212,9	751,6
Standard-Abweichung	4,07	0,032	0,127	2,100		5,934	23,736

**Tabelle 4.1-22: Bruchfestigkeit von KKD Sympatic Dam/extra stark/Latex/Ch.-B.
9003**

4.1.9 SDS Iso Dam (Stärke: mittel/ Non latex)

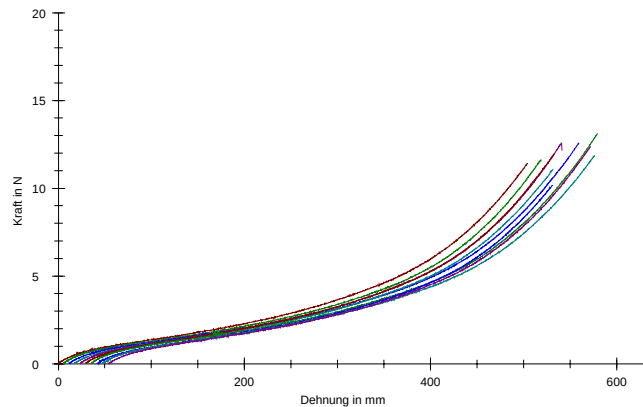


Abbildung 4.1-24: Kraft-Weg-Diagramme für Iso Dam /mittel/non Latex

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.1-24). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslänge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Alle Proben sind regelmäßig gerissen.

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren gemessenen Werten für den Anfangsquerschnitt jeder Zugprobe wird die Bruchfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.1-23):

Ten = **F/A**, hierin bedeuten:

F die Bruchkraft („Force“)

A die Querschnittfläche („Area“) errechnet nach der Formel:

[Stegbreite (6 mm)-Lochdurchmesser (2 mm)] x Dicke der jeweiligen Teststreifen

Die Dehnung beim Bruch in % (**Bruchdehnung**) wird, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge, wie folgt errechnet: **Bruchdehnung** = $[(L-L_0)/L_0] \times 100$

Probennummer	F=Bruchkraft (Force)	Dicke der untersuchten Proben	A=Querschnittsfläche (Area)	F/A= Bruchfestigkeit	Lo=initiale Meßlänge zwischen Markierungen	L=Meßlänge zwischen Markierungen beim Bruch	Bruchdehnung [%] [(L-Lo)/Lo] x 100
No.	N	mm	mm ²	MPa	mm	mm	%
1	11,42	0,247	0,99	11,56	25	211	744
2	11,61	0,235	0,94	12,35	25	211	744
3	12,60	0,24	0,96	13,13	25	223	792
4	11,10	0,234	0,94	11,86	25	214	756
5	12,59	0,242	0,97	13,01	25	211	744
6	11,96	0,24	0,96	12,46	25	210	740
7	13,12	0,243	0,97	13,50	25	215	760
8	10,20	0,235	0,94	10,85	25	210	740
9	11,88	0,246	0,98	12,07	25	225	800
10	12,38	0,245	0,98	12,63	25	220	780
Mittelwert	11,89	0,24	0,96	12,34		215	760
Standard-Abweichung	0,85	0,005	0,018	0,792		5,657	22,627

Tabelle 4.1-23: Bruchfestigkeit von Sigma Dental Systems/mittel/non Latex/Ch.-B. 50201

4.1.10 Der Einfluß der Materialstärke auf die Bruchfestigkeit

Die Stärke der Kofferdamfolien spielt eine große Rolle und hat einen großen Einfluß über die Bruchfestigkeit. Der Vergleich verschiedener Folienstärke zeigt unterschiedlicher Bruchfestigkeit (Abbildung 4.1-25).

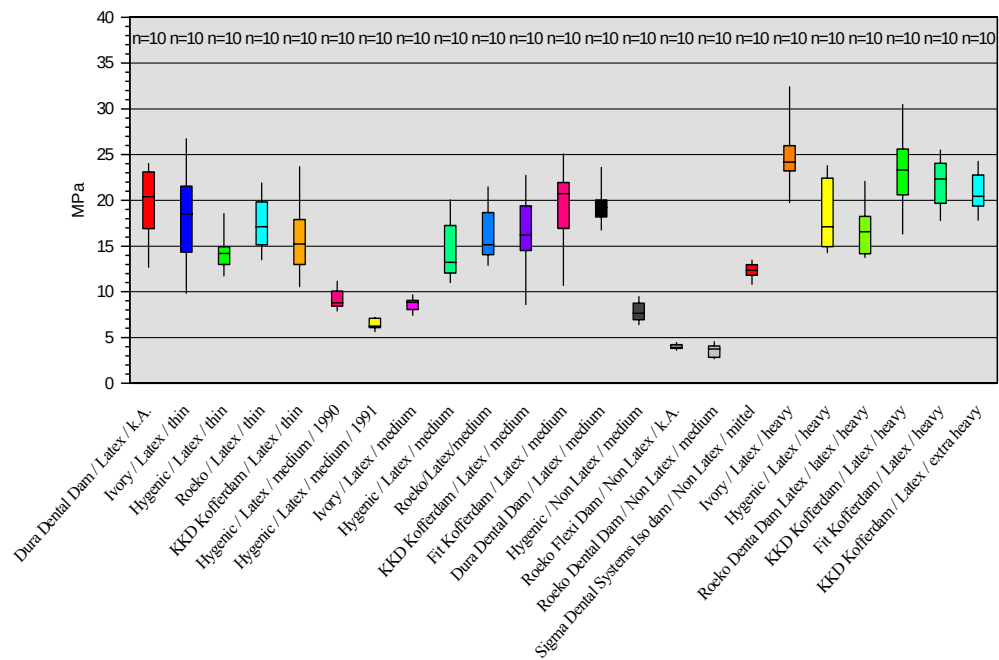


Abbildung 4.1-25: Vergleich der Bruchfestigkeiten aller Gruppen

4.1.11 Herstellervergleich

Der Herstellervergleich derselben Stärke zwischen allen latexbasierenden Kofferdamfolien zeigt unterschiedliche Werte, abhängig vom Hersteller und von den jeweiligen Stärke (Abbildung 4.1-26, Abbildung 4.1-27, Abbildung 4.1-28).

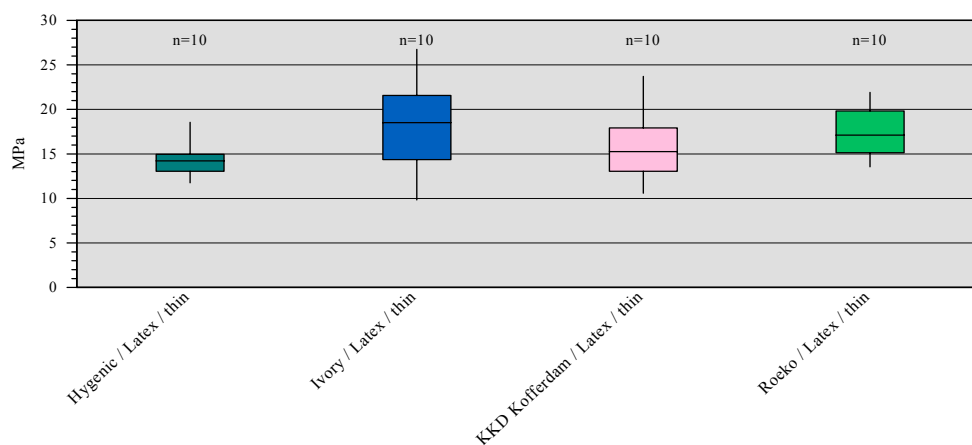


Abbildung 4.1-26: Herstellervergleich/ Stärke: dünn

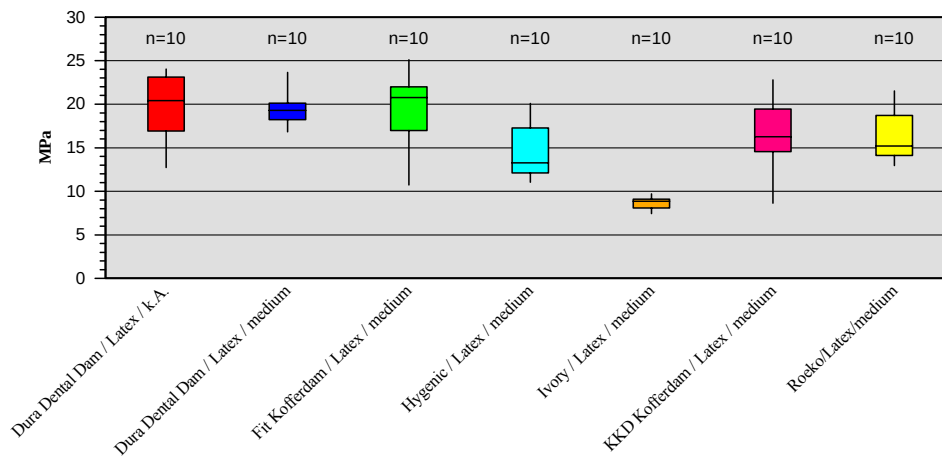


Abbildung 4.1-27: Herstellervergleich/ Stärke: mittel

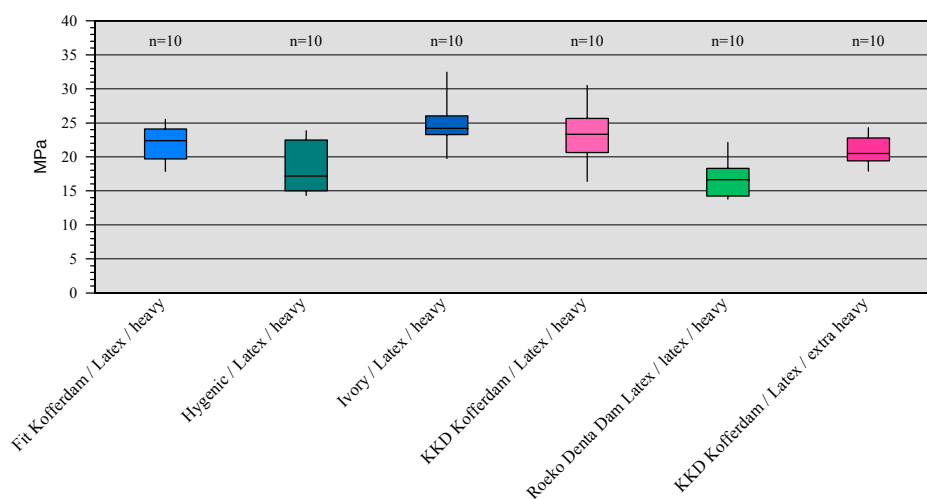


Abbildung 4.1-28: Herstellervergleich/ Stärke: stark

Auffällig ist in Abbildung 4.1-27 der geringe Wert eines „Premium“ Produktes. Es ist zudem erstaunlich, daß KKD/Extra stark „extra heavy“ nicht elastischer als KKD/stark „heavy“ s. Abbildung 4.1-28.

4.1.12 Materialvergleich latex vs. Non-Latex

Erstaunlich ist beim Vergleich unterschiedlicher Materialien gleicher Stärke, daß Roeko Flexi Dam/non latex nicht elastischer ist als Roeko Dental Dam/non latex,

obwohl Roeko Flexi Dam die höchsten Bruchdehnungswerte aller Gruppen angezeigt hat (Tabelle 4.1-15, Abbildung 4.1-29).

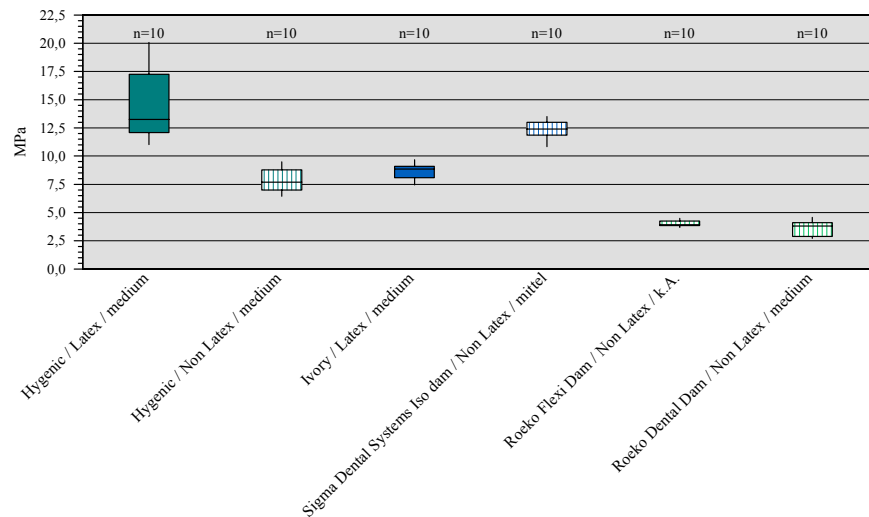


Abbildung 4.1-29: Materialvergleich/Latex/Non Latex

4.1.13 Alter des Materials

Die neu hergestellten latexbasierenden Kofferdamfolien derselben Herstellerstärke wiesen im Vergleich mit 11 und 12 Jahre alten Proben desselben Folienherstellers wesentlich höhere Elastizitäten Werte auf (Abbildung 4.1-30). Zudem lagen die Werte der 11 Jahre alten Proben unter denen für die 12 Jahre gelagerten.

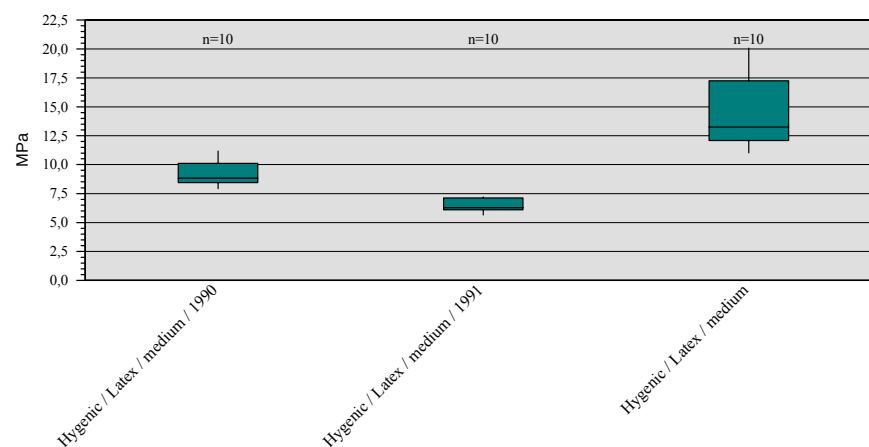


Abbildung 4.1-30: Altersvergleich

4.1.14 Auswertung der Ergebnisse der Bruchfestigkeit

Die Auswertung der Bruchfestigkeit der verschiedenen Kofferdamfolien ergab signifikante Unterschiede, abhängig von der Stärke, Hersteller und dem Folienalter.

In der **Varianzanalyse** ergab sich ein hoch signifikanter Effekt der Kofferdamfolien und der Hersteller (Tabelle 4.1-24). Zudem zeigt sich eine Interaktion zwischen den beiden Einflüssen ($p < 0,001$).

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: MPa

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	4193.447 ^a	18	232.969	21.955	.000
Konstanter Term	37090.327	1	37090.327	3495.456	.000
HERSTEL	458.457	5	91.691	8.641	.000
STARK	1712.316	6	285.386	26.895	.000
HERSTEL * STARK	896.305	7	128.044	12.067	.000
Fehler	1814.483	171	10.611		
Gesamt	60627.954	190			
Korrigierte Gesamtvariation	6007.930	189			

a. R-Quadrat = .698 (korrigiertes R-Quadrat = .666)

Tabelle 4.1-24: Ergebnisse der Varianzanalyse der Normstabproben (Dumb-Bell)

Der **Tukey-HSD-Test** in der Tabelle „Mehrfachvergleich“ (Tabelle 4.1-25, Anhang 1) gibt die Mittelwertdifferenzen mit der zugehörigen Signifikanz an. Dabei zeigt sich, daß die Proben verschiedener Hersteller derselben Untergruppe sich voneinander nicht unterscheiden, im Gegenteil unterscheiden sich voneinander die Proben verschiedener Hersteller der verschiedenen Untergruppen hochsignifikant.

MPa

Tukey-HSD^a

Code No.	N	Untergruppe für Alpha = .05.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10302	10	3.6590										
10300	10	4.0300	4.0300									
10216	10	6.4570	6.4570	6.4570								
10202	10	7.8400	7.8400	7.8400	7.8400							
10112	10		8.6230	8.6230	8.6230							
10215	10			9.1990	9.1990							
10402	10				12.3420	12.3420						
10211	10					14.3210	14.3210					
10212	10					14.4820	14.4820					
10511	10					15.7350	15.7350	15.7350				
10512	10					16.4420	16.4420	16.4420	16.4420			
10312	10					16.5030	16.5030	16.5030	16.5030			
10313	10					16.9610	16.9610	16.9610	16.9610			
10311	10						17.4140	17.4140	17.4140	17.4140		
10111	10						18.0180	18.0180	18.0180	18.0180		
10213	10						18.3310	18.3310	18.3310		18.3310	
10712	10							19.4880	19.4880	19.4880	19.4880	
10710	10							19.6200	19.6200	19.6200	19.6200	
10612	10							19.8300	19.8300	19.8300	19.8300	
10514	10								20.9030	20.9030	20.9030	20.9030
10613	10									21.9140	21.9140	21.9140
10513	10										23.1090	23.1090
10113	10											24.7960
Signifikanz		.212	.095	.914	.115	.090	.282	.246	.125	.115	.063	.338

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10.000.

Tabelle 4.1-25: Mehrfachvergleiche (Tukey-HSD-Test)

4.2 Ergebnisse des Weiterreißversuchs

Auch die Ergebnisse der Weiterreißversuche (Reißfestigkeit) lassen sich in 23 Untergruppen unterteilen, abhängig von der Folienstärke, dem Folienmaterial, dem Foliennalter, und dem Hersteller der Folien.

4.2.1 SDS Dura Dental Dam (Stärke: unbekannt, mittel)

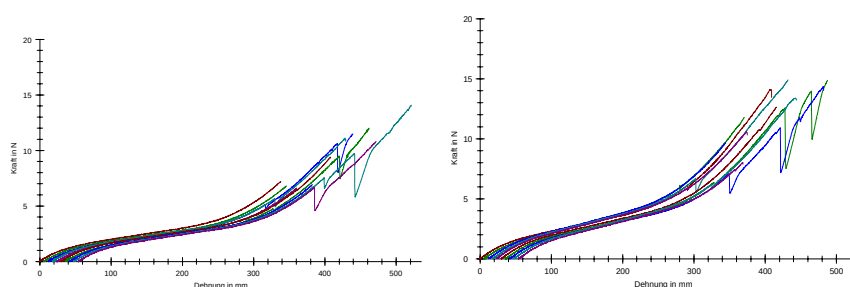


Abbildung 4.2-1: Kraft-Weg-Diagramme für Dura Dental Dam /unbekannte Stärke/Latex (links), mittel/Latex (rechts)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben der beiden Gruppen (Dura Dental Dam unbekannte Dicke, Dura Dental Dam mittel) läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich. Einzelne Proben, deren Kurven ungleichmäßig verlaufen (Abbildung 4.2-1), zeigen vor dem Reißpunkt eine Inkontinuität. Diese Unterbrechung der Kurven läßt auf einen plötzlichen Rückgang der Kraft schließen. Die Ursache dürfte in einem teilweisen Riß begründet sein, der sich später fortsetzte. Hiefür sprechen auch die mikroskopischen Befunden der Rißkanten (S. 3.2.3).

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Proben Nr. 3, 4, 7, 9 und 10 der Gruppe Dura Dental Dam/unbekannte Stärke sind nicht regelmäßig gerissen, der Bruch war zwar quer und mittig, aber es gab andere senkrechte Rißlinie (Abbildung 4.2-2), und die Proben Nr. 1, 5, 7, 8 und 9 der Gruppe Dura Dental Dam/mittel sind auch unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.2-3).



**Abbildung 4.2-2: Unregelmäßiger Riß bei Dura Dental dam/
unbekannte Stärke/Latex**

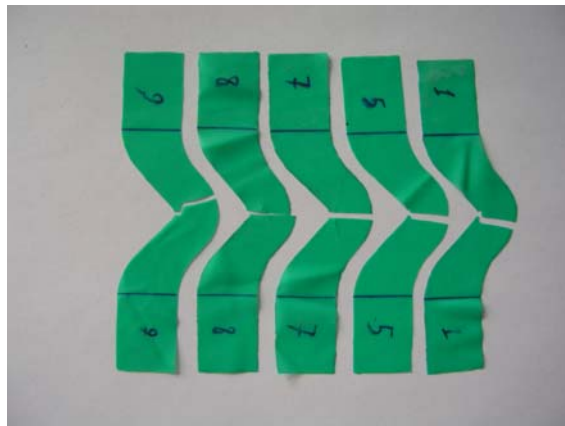


Abbildung 4.2-3: Unregelmäßiger Riß bei Dura Dental dam/mittel/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-1, Tabelle 4.2-2):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft

d: Dicke der jeweiligen Teststreifen.

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	T _s =F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	7,20	0,179	40,22
2	6,79	0,172	39,48
3	11,48	0,173	66,36
4	11,11	0,183	60,71
5	6,61	0,172	38,43
6	9,41	0,182	51,70
7	12,00	0,174	68,97
8	6,93	0,171	40,53
9	14,06	0,177	79,44
10	10,79	0,177	60,96
Mittelwert	9,64	0,18	54,68
Standard- Abwei- chung	2,64	0,004	14,692

Tabelle 4.2-1: Reißfestigkeit von Dura Dental Dam/unbek. Dicke/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	14,11	0,19	74,26
2	11,77	0,183	64,32
3	9,68	0,194	49,90
4	14,88	0,191	77,91
5	10,57	0,183	57,76
6	12,64	0,192	65,83
7	14,87	0,189	78,68
8	14,36	0,195	73,64
9	13,37	0,182	73,46
10	8,02	0,183	43,83
Mittelwert	12,43	0,19	65,96
Standard- Abweichung	2,37	0,005	12,048

Tabelle 4.2-2: Reißfestigkeit von Dura Dental Dam/mittel/Latex

4.2.2 Ivory Dental Dam (Stärke: dünn, mittel, stark)

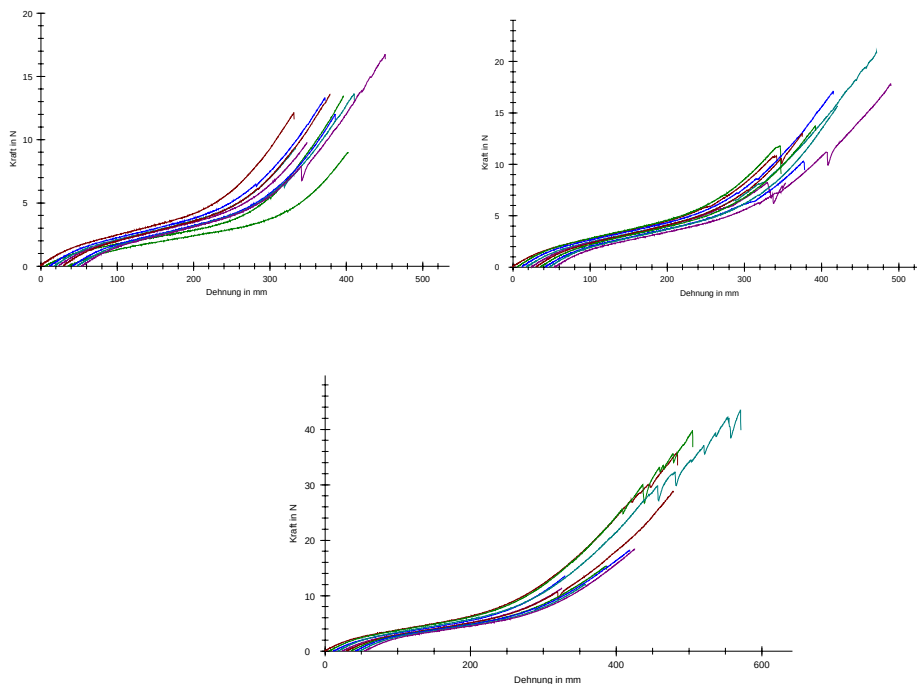


Abbildung 4.2-4: Kraft-Weg-Diagramme für Ivory/alle Latex/dünn (links oben), mittel (rechts oben), stark (unten)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben der untersuchten Gruppen läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich. Einzelne Proben, deren Kurven ungleichmäßig verlaufen (Abbildung 4.2-4), zeigen vor dem Reißpunkt eine Inkontinuität. Diese Unterbrechung der Kurven läßt auf einen plötzlichen Rückgang der Kraft schließen. Die Ursache dürfte in einem teilweisen Riß begründet sein, der sich später fortsetzte. Hiefür sprechen auch die mikroskopischen Befunden der Rißkanten (S. 3.2.3).

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Proben Nr. 2, 3, 6, 9, 10 der Gruppe Ivory/dünn und die Proben Nr. 1, 2, 3, 6 und 7 der Gruppe Ivory/mittel und die Proben Nr. 1, 2, 4 und 6 der Gruppe Ivory/stark sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.2-5, Abbildung 4.2-6, Abbildung 4.2-7).

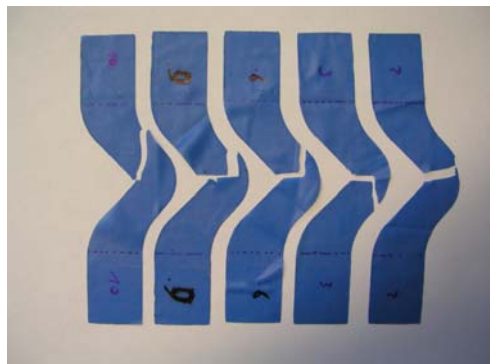


Abbildung 4.2-5: Unregelmäßiger Riß bei Ivory/dünn/Latex

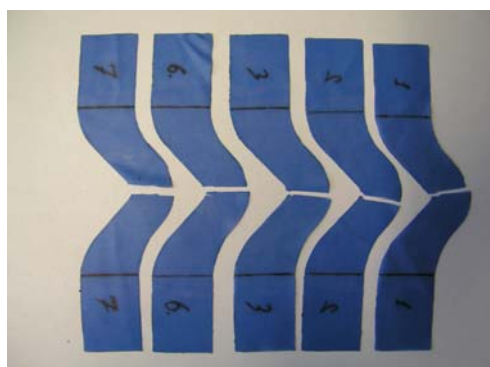


Abbildung 4.2-6: Unregelmäßiger Riß bei Ivory/mittel/Latex

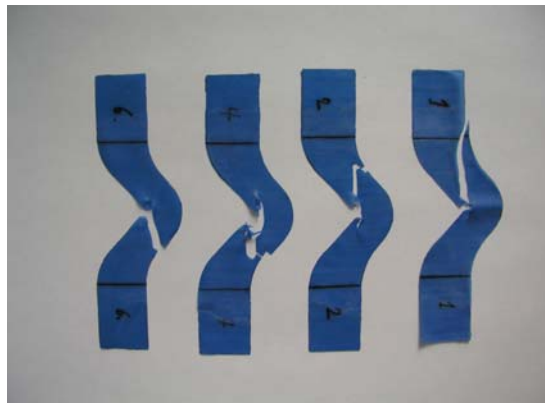


Abbildung 4.2-7: Unregelmäßiger Riß bei Ivory/stark/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-3, Tabelle 4.2-4):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft / **d:** Dicke der jeweiligen Teststreifen.

Erstaunlich, daß die Teststreifen/ Stärke: stark eine große Standardabweichung gezeigt haben als die andere Teststreifen/dünn/mittel (Tabelle 4.2-5).

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	T _s =F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	12,15	0,16	75,94
2	13,45	0,17	79,12
3	13,31	0,17	78,29
4	9,32	0,16	58,25
5	9,78	0,16	61,13
6	13,6	0,17	80,00
7	9,02	0,17	53,06
8	12,01	0,16	75,06
9	13,61	0,17	80,06
10	16,74	0,16	104,63
Mittelwert	12,30	0,165	74,55
Standard- Abweichung	2,40	0,005	14,57

Tabelle 4.2-3: Reißfestigkeit von Ivory/dünn/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	10,8	0,23	46,96
2	11,79	0,23	51,26
3	17,08	0,23	74,26
4	20,93	0,226	92,61
5	8,21	0,22	37,32
6	12,99	0,226	57,48
7	13,75	0,224	61,38
8	10,27	0,225	45,64
9	15,65	0,226	69,25
10	17,8	0,227	78,41
Mittelwert	13,93	0,23	61,46
Standard- Abwei- chung	3,92	0,003	17,144

Tabelle 4.2-4: Reißfestigkeit von Ivory/mittel/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	35,72	0,28	127,57
2	39,77	0,28	142,04
3	13,52	0,26	52,00
4	43,47	0,27	161,00
5	11,32	0,25	45,28
6	28,83	0,25	115,32
7	15,35	0,25	61,40
8	18,21	0,27	67,44
9	12,02	0,26	46,23
10	18,40	0,27	68,15
Mittelwert	23,66	0,26	88,64
Standard- Abweichung	12,21	0,012	43,394

Tabelle 4.2-5: Reißfestigkeit von Ivory/stark/Latex

4.2.3 Hygenic Dental Dam (neu)

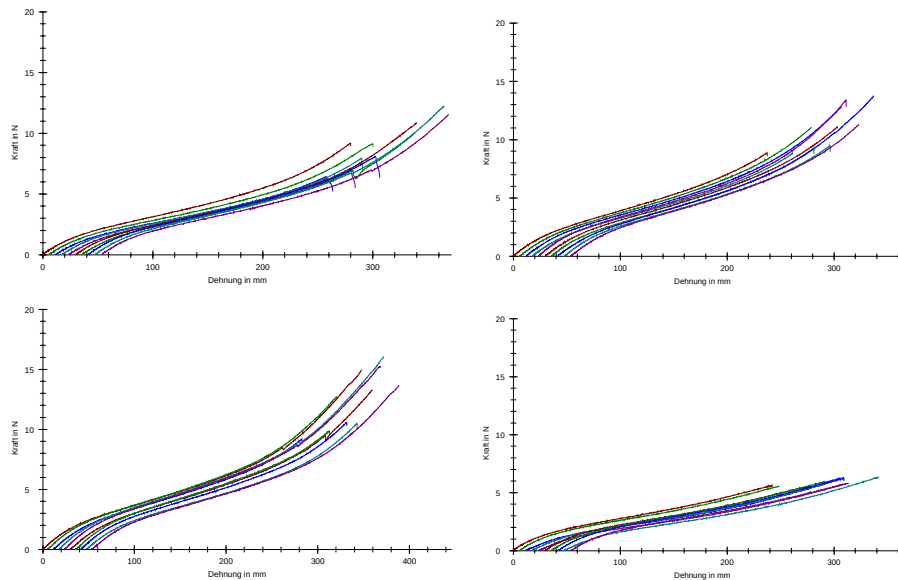


Abbildung 4.2-8: Kraft-Weg-Diagramme für Hygenic/dünn(links oben), mittel (rechts oben), stark (links unten)/Latex, Hygenic/mittel/non latex (rechts unten)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben der untersuchten Gruppen läßt auch hier eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig bei den Latex Teststreifen und sehr flache S-förmig bei den Non Latex Teststreifen und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich. Einzelne Proben, deren Kurven ungleichmäßig gerissen sind (Abbildung 4.2-8), zeigen vor dem Reißpunkt eine Inkontinuität. Diese Unterbrechung der Kurven läßt auf einen plötzlichen Rückgang der Kraft schließen. Die Ursache dürfte in einem teilweisen Riß begründet sein, der sich später fortsetzte. Hiefür sprechen auch die mikroskopischen Befunden der Rißkanten (S. 3.2.3). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslänge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Proben Nr. 2, 6, 9 und 10 der Gruppe Hygenic/dünn und die Proben Nr. 5, 6 der Gruppe Hygenic/mittel und die Proben Nr. 1, 4, 5 und 6 der Gruppe Hygenic/stark sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.2-9, Abbildung 4.2-10, Abbildung 4.2-11).

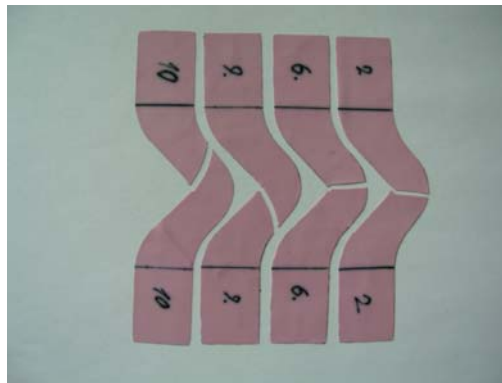


Abbildung 4.2-9: Unregelmäßiger Riß bei Hygenic/dünn/Latex

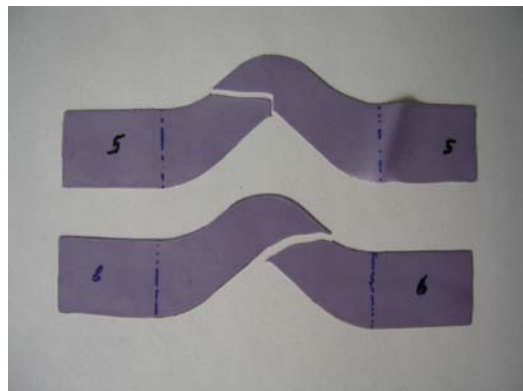


Abbildung 4.2-10: Unregelmäßiger Riß bei Hygenic/mittel/Latex

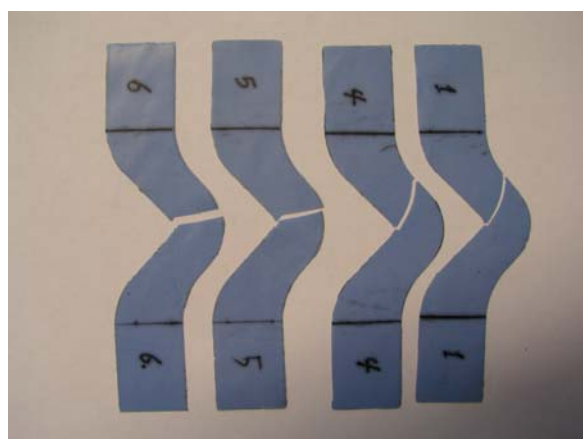


Abbildung 4.2-11: Unregelmäßiger Riß bei Hygenic/stark/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-6, Tabelle 4.2-7, Tabelle 4.2-8, Tabelle 4.2-9):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft / **d:** Dicke der jeweiligen Teststreifen.

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	9,18	0,204	45,00
2	9,13	0,194	47,06
3	6,44	0,18	35,78
4	7,95	0,19	41,84
5	7,01	0,187	37,49
6	10,85	0,19	57,11
7	9,99	0,19	52,58
8	8,11	0,2	40,55
9	12,23	0,197	62,08
10	11,54	0,195	59,18
Mittelwert	9,24	0,19	47,87
Standard- Abweichung	1,92	0,007	9,370

Tabelle 4.2-6: Reißfestigkeit von Hygenic/dünn/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	8,85	0,209	42,34
2	11,05	0,208	53,13
3	12,78	0,209	61,15
4	8,83	0,205	43,07
5	13,41	0,203	66,06
6	11,09	0,202	54,90
7	9,25	0,201	46,02
8	13,71	0,203	67,54
9	9,47	0,205	46,20
10	11,27	0,209	53,92
Mittelwert	10,97	0,21	53,43
Standard- Abweichung	1,86	0,003	9,178

Tabelle 4.2-7: Reißfestigkeit von Hygenic/mittel/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	14,91	0,26	57,35
2	12,73	0,27	47,15
3	9,20	0,25	36,80
4	16,01	0,27	59,30
5	15,23	0,28	55,38
6	13,28	0,26	51,08
7	9,87	0,27	36,56
8	10,59	0,27	39,22
9	10,50	0,25	42,51
10	13,66	0,25	54,64
Mittelwert	12,60	0,26	48,00
Standard- Abweichung	2,43	0,011	8,740

Tabelle 4.2-8: Reißfestigkeit von Hygenic/stark/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	5,59	0,28	19,96
2	5,54	0,28	19,79
3	6,20	0,26	23,85
4	5,68	0,27	21,04
5	5,74	0,27	21,26
6	5,57	0,28	19,89
7	5,95	0,28	21,25
8	6,28	0,29	21,66
9	6,33	0,28	22,61
10	5,80	0,28	20,71
Mittelwert	5,87	0,28	21,20
Standard- Abweichung	0,3	0,008	1,280

Tabelle 4.2-9: Reißfestigkeit von Hygenic/mittel/Non Latex

4.2.4 Hygenic Dental Dam (alt)

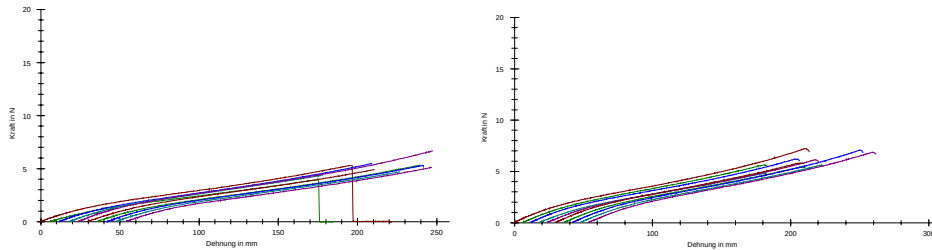


Abbildung 4.2-12: Kraft-Weg-Diagramme für Hygenic mittel/Latex/Produktion: 14.03.1991 (links), Hygenic/mittel/Latex/Produktion:12.05.1990 (rechts)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt auch hier eine Homogenität bei den beiden Gruppen erkennen. Der Verlauf der Kurven ist sehr flache geradeausförmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.2-12). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslänge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Alle Proben sind hier regelmäßig gerissen.

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-10, Tabelle 4.2-11):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft / **d:** Dicke der jeweiligen Teststreifen.

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	5,34	0,23	23,22
2	3,97	0,23	17,26
3	5,48	0,235	23,32
4	4,39	0,235	18,68
5	6,68	0,235	28,43
6	4,92	0,235	20,94
7	5,32	0,23	23,13
8	5,31	0,236	22,50
9	4,71	0,23	20,48
10	5,11	0,22	23,23
Mittelwert	5,12	0,23	22,12
Standard- Abweichung	0,73	0,005	3,062

**Tabelle 4.2-10: Reißfestigkeit von Hygenic/mittel/Latex/
Produktion:14.03.1991**

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	7,22	0,20	36,10
2	5,62	0,19	29,58
3	6,20	0,20	31,00
4	4,80	0,19	25,26
5	6,14	0,20	30,70
6	5,81	0,20	29,05
7	5,41	0,20	27,05
8	7,08	0,20	35,40
9	5,58	0,20	27,90
10	6,87	0,21	32,71
Mittelwert	6,07	0,2	30,48
Standard- Abweichung	0,79	0,006	3,49

**Tabelle 4.2-11: Reißfestigkeit der Hygenic/mittel/Latex/
Produktion:12.05.1990**

4.2.5 Roeko Dental Dam (dünn, mittel, stark)

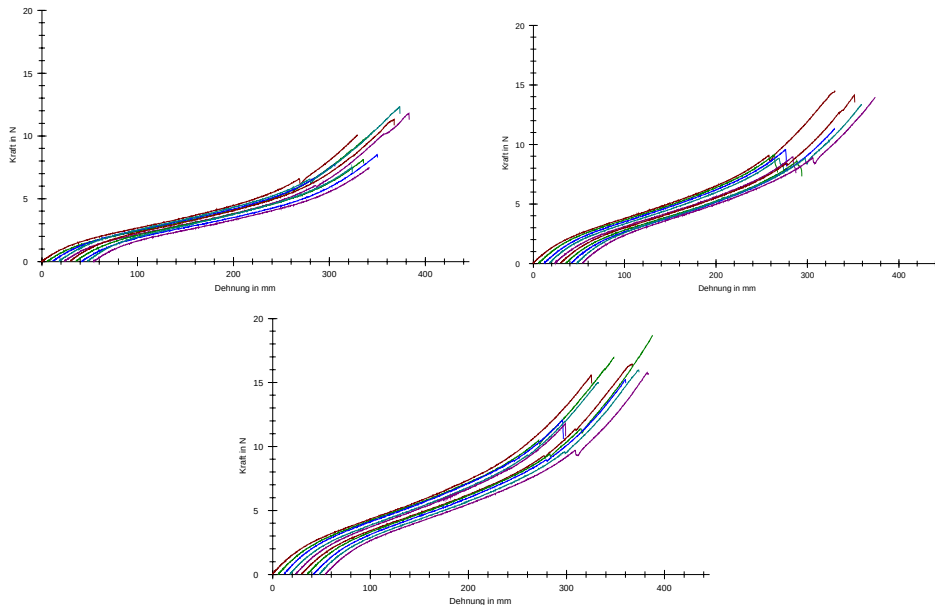


Abbildung 4.2-13: Kraft-Weg-Diagramme für Roeko/alle Latex/dünn (links oben), mittel (rechts oben), stark (unten),

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben der untersuchten Gruppen läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich. Einzelne Proben, deren Kurven ungleichmäßig verlaufen (Abbildung 4.2-13), zeigen vor dem Reißpunkt eine Inkontinuität.

Diese Unterbrechung der Kurven läßt auf einen plötzlichen Rückgang der Kraft schließen. Die Ursache dürfte in einem teilweisen Riß begründet sein, der sich später fortsetzte. Hiefür sprechen auch die mikroskopischen Befunden der Rißkanten (S. 3.2.3).

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Proben Nr. 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9 und 10 der Gruppe Roeko/stark sind unregelmäßig gerissen (Abbildung 4.2-14).

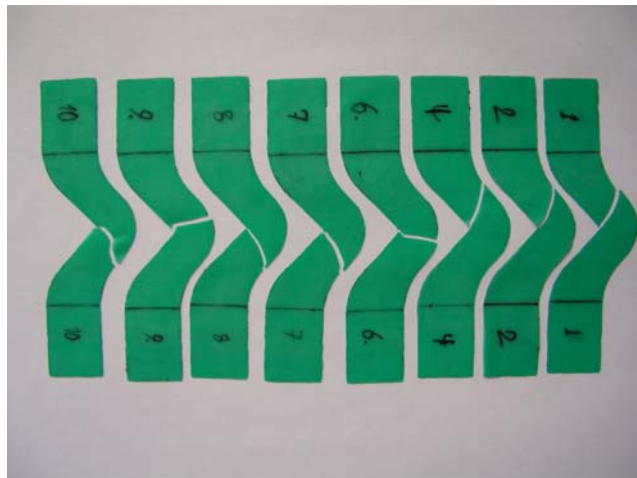


Abbildung 4.2-14: Unregelmäßiger Riß bei Roeko/stark/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-12, Tabelle 4.2-13, Tabelle 4.2-14):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft / **d**: Dicke der jeweiligen Teststreifen.

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	T _s =F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	10,09	0,19	53,11
2	10,39	0,182	57,09
3	7,73	0,194	39,85
4	12,33	0,19	64,89
5	11,81	0,181	65,25
6	11,3	0,19	59,47
7	8,13	0,193	42,12
8	8,49	0,186	45,65
9	7,49	0,193	38,81
10	7,47	0,178	41,97
Mittelwert	9,52	0,19	50,82
Standard- Abweichung	1,88	0,006	10,39

Tabelle 4.2-12: Reißfestigkeit von Roeko/dünn/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	14,46	0,24	60,25
2	9,14	0,24	38,08
3	9,56	0,234	40,85
4	8,83	0,237	37,26
5	8,96	0,239	37,49
6	14,15	0,238	59,45
7	8,60	0,23	37,39
8	11,31	0,23	49,17
9	13,34	0,24	55,58
10	13,97	0,23	60,74
Mittelwert	11,23	0,24	47,63
Standard- Abweichung	2,49	0,004	10,48

Tabelle 4.2-13: Reißfestigkeit von Roeko/mittel/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	15,57	0,27	57,67
2	16,94	0,28	60,50
3	12,04	0,28	43,00
4	15,01	0,27	55,59
5	11,77	0,27	43,59
6	16,44	0,27	60,89
7	18,67	0,28	66,68
8	15,23	0,27	56,41
9	15,98	0,28	57,07
10	15,77	0,28	56,32
Mittelwert	15,34	0,28	55,77
Standard- Abweichung	2,09	0,005	7,34

Tabelle 4.2-14: Reißfestigkeit von Roeko/stark/Latex

4.2.6 Roeko Dental Dam (Non Latex)

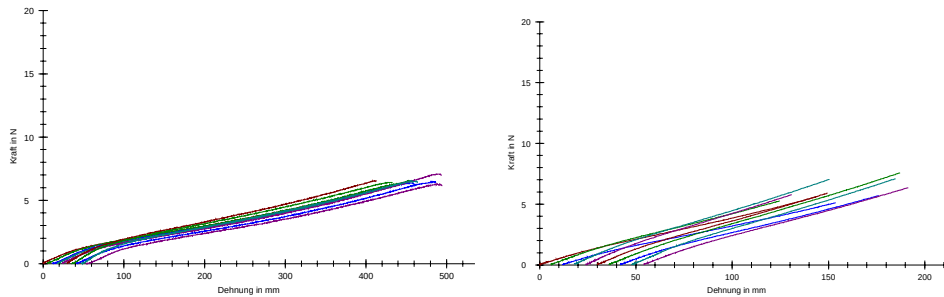


Abbildung 4.2-15: Kraft-Weg-Diagramme für Roeko Flexi Dam/Stärke K.A./non Latex (links), Roeko Silikone/mittel/non Latex (rechts)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist sehr flache S-förmig bei der Roeko Flexi Dam Proben und flache geradeausförmig bei der Roeko/mittel/Non Latex Proben und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.2-15). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufsänge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Alle Proben sind hier regelmäßig gerissen.

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-15, Tabelle 4.2-16):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft

d: Dicke der jeweiligen Teststreifen

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	6,37	0,509	12,51
2	6,52	0,51	12,78
3	6,37	0,506	12,59
4	6,51	0,501	12,99
5	7,08	0,507	13,96
6	6,54	0,513	12,75
7	6,42	0,511	12,56
8	6,46	0,512	12,62
9	6,54	0,508	12,87
10	6,26	0,501	12,50
Mittelwert	6,51	0,51	12,81
Standard- Abweichung	0,22	0,004	0,43

Tabelle 4.2-15: Reißfestigkeit von Roeko Flexi Dam/Stärke K. A./non Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	5,58	0,2	27,90
2	5,26	0,24	21,92
3	5,11	0,2	25,55
4	7,05	0,27	26,11
5	5,77	0,27	21,37
6	5,9	0,27	21,85
7	7,58	0,26	29,15
8	5,7	0,22	25,91
9	7,09	0,28	25,32
10	6,34	0,2	31,70
Mittelwert	6,14	0,24	25,68
Standard- Abweichung	0,84	0,033	3,35

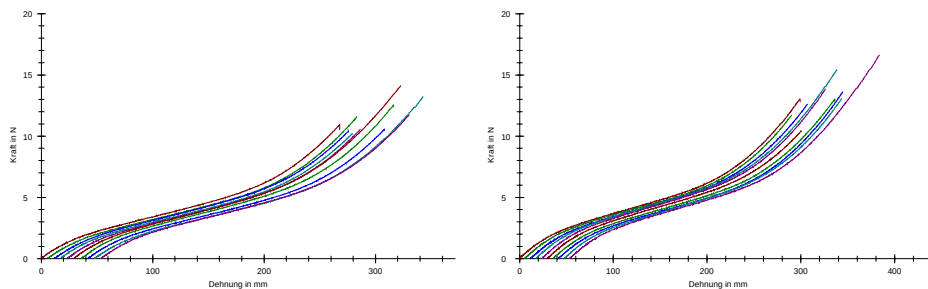
Tabelle 4.2-16: Reißfestigkeit von Roeko Silikone/mittel/non Latex

4.2.7 Hager & Werken Fit Kofferdam

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben der beiden Gruppen läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich. Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche

nuierlich. Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufs­länge (Abbildung 4.2-16).



**Abbildung 4.2-16: Kraft-Weg-Diagramme für Fit Kofferdam/mittel/Latex (links),
Fit Kofferdarm/stark/Latex (rechts)**

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Die Probe Nr. 9 der Gruppe Fit Kofferdam/mittel und alle 10 Proben der Gruppe Fit Kofferdam/stark/Latex haben unregelmäßige Risse gehabt. die Brüche waren nicht mittig sondern verliefen erst quer, dann senkrecht (Abbildung 4.2-17 und Abbildung 4.2-18).



Abbildung 4.2-17: Unregelmäßiger Riß bei Fit Kofferdam/mittel/Latex

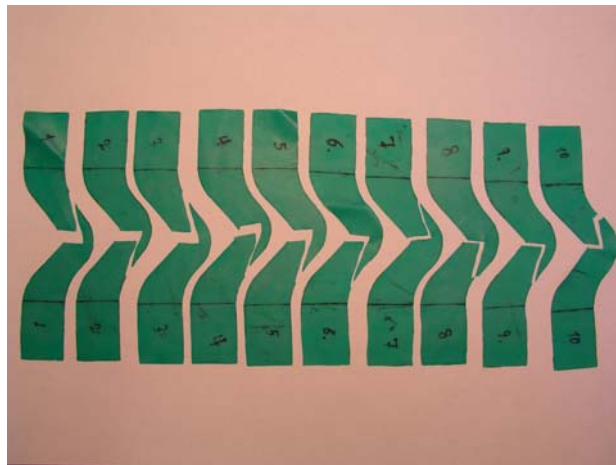


Abbildung 4.2-18: Unregelmäßiger Riß von Fit Kofferdam/stak/Latex

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-17, Tabelle 4.2-18):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft / **d:** Dicke der jeweiligen Teststreifen

Proben	F= Höchstkraft	d= Dicke der untersuchten Proben	T _s =F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	10,94	0,21	52,10
2	11,58	0,21	55,14
3	10,41	0,21	49,57
4	10,2	0,21	48,57
5	10,53	0,21	50,14
6	14,13	0,21	67,29
7	12,52	0,21	59,62
8	10,55	0,21	50,24
9	13,22	0,21	62,95
10	11,75	0,21	55,95
Mittelwert	11,58	0,21	55,16
Standard- Abweichung	1,33	0	6,34

Tabelle 4.2-17: Reißfestigkeit von Fit Kofferdam/mittel/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	13,04	0,27	48,30
2	11,7	0,28	41,79
3	12,62	0,27	46,74
4	15,41	0,28	55,04
5	13,8	0,28	49,29
6	10,45	0,27	38,70
7	13,04	0,26	50,15
8	13,58	0,26	52,23
9	13,08	0,22	59,45
10	16,63	0,27	61,59
Mittelwert	13,34	0,27	50,33
Standard- Abweichung	1,74	0,018	7,17

Tabelle 4.2-18: Reißfestigkeit von Fit Kofferdam/stark/Latex

4.2.8 Kenzler Kaschner KKD Sympatic Dam

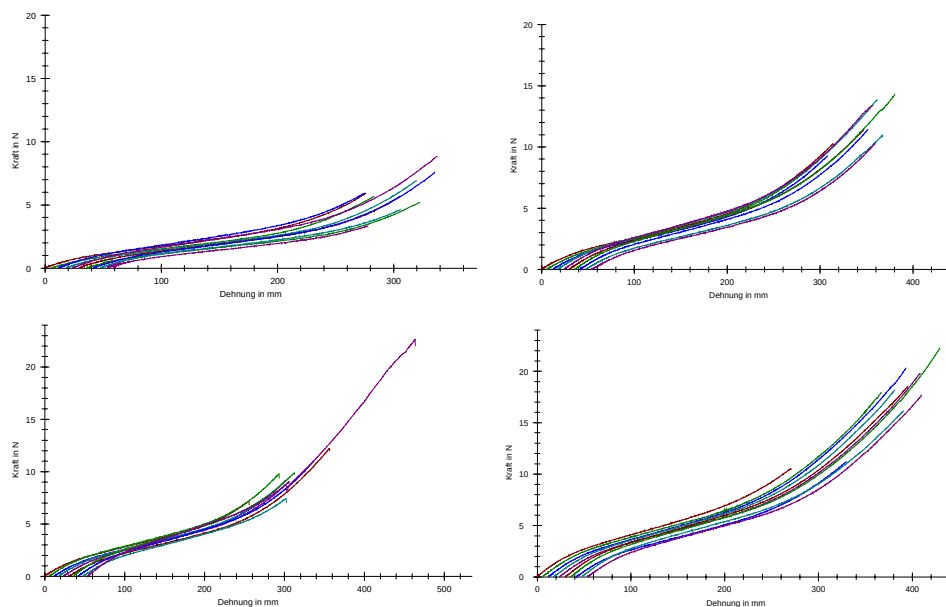


Abbildung 4.2-19: Kraft-Weg-Diagramme für KKD/alle Latex/dünn (links oben), KKD/ mittel (rechts oben), KKD/stark (links unten), KKD/extra stark (rechts unten)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt auch hier eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.2-19). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslängen.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Der Bruch der KKD Sympatic Dam/stark Probe Nr. 10 war nicht mittig, erst war quer und dann war senkrecht (Abbildung 4.2-20).



**Abbildung 4.2-20: unregelmäßiger Riß der Probe Nr.10
/KKD Sympatic Dam/stark/Latex**

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-19, Tabelle 4.2-20, Tabelle 4.2-21, Tabelle 4.2-22):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft

d: Dicke der jeweiligen Teststreifen

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	5,92	0,136	43,53
2	5,66	0,142	39,86
3	5,93	0,139	42,66
4	6,95	0,127	54,72
5	8,86	0,144	61,53
6	5,6	0,14	40,00
7	5,18	0,139	37,27
8	7,55	0,136	55,51
9	4,65	0,139	33,45
10	3,32	0,149	22,28
Mittelwert	5,96	0,14	43,08
Standard- Abweichung	1,54	0,006	11,59

Tabelle 4.2-19: Reißfestigkeit von KKD Sympatic Dam/dünn/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	10,26	0,22	46,64
2	8,47	0,223	37,98
3	9,25	0,22	42,05
4	13,83	0,25	55,32
5	13,4	0,25	53,60
6	11,39	0,25	45,56
7	14,33	0,25	57,32
8	11,46	0,245	46,78
9	10,95	0,238	46,01
10	10,26	0,22	46,64
Mittelwert	11,36	0,24	47,79
Standard- Abweichung	1,96	0,014	5,98

Tabelle 4.2-20: Reißfestigkeit von KKD Sympatic Dam/mittel/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	7,14	0,230	31,04
2	9,77	0,237	41,22
3	9,14	0,240	38,08
4	7,32	0,261	28,05
5	9,04	0,262	34,50
6	12,25	0,242	50,62
7	9,86	0,289	34,12
8	10,94	0,280	39,07
9	7,43	0,270	27,52
10	22,66	0,300	75,53
Mittelwert	10,56	0,26	39,98
Standard- Abweichung	4,56	0,024	14,24

Tabelle 4.2-21: Reißfestigkeit von KKD Sympatic Dam/stark/Latex

Proben	F= Höchst- kraft	d= Dicke der unter- suchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	10,54	0,34	31,00
2	17,96	0,34	52,82
3	20,32	0,34	59,76
4	18,2	0,34	53,53
5	19,79	0,34	58,21
6	18,56	0,37	50,16
7	22,24	0,35	63,54
8	11,17	0,34	32,85
9	16,16	0,34	47,53
10	17,62	0,32	55,06
Mittelwert	17,26	0,34	50,45
Standard- Abwei- chung	3,76	0,012	10,81

Tabelle 4.2-22: Reißfestigkeit von KKD Sympatic Dam/extra stark/Latex

4.2.9 SDS Iso Dam (Stärke: mittel/Non Latex)

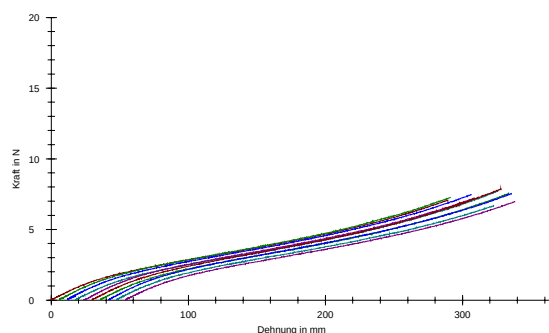


Abbildung 4.2-21: Kraft-Weg-Diagramme für Iso Dam/mittel/Non Latex

Verlauf des Kraft-Weg-Diagramms

Der Kurvenverlauf aller 10 Proben läßt eine Homogenität erkennen. Der Verlauf der Kurven ist flach S-förmig und bei der Mehrheit der Proben kontinuierlich (Abbildung 4.2-21). Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslänge.

Ergebnisse der makro-/mikroskopischen Untersuchung

Alle Proben sind hier regelmäßig gerissen.

Meßwerte aus dem Kraft-Weg-Diagramm

Aus den nach dem im Abschnitt 3.2.1 gemessenen Werten wird die Reißfestigkeit wie folgt errechnet (Tabelle 4.2-23):

$$T_s = F/d$$

F: Höchstkraft

d: Dicke der jeweiligen Teststreifen

Proben	F= Höchstkraft	d= Dicke der untersuchten Proben	Ts=F/d Reißfestigkeit
No.	N	mm	KN/m
1	7,07	0,2	35,35
2	7,28	0,24	30,33
3	7,46	0,245	30,45
4	7,73	0,23	33,61
5	7,22	0,245	29,47
6	7,87	0,24	32,79
7	7,55	0,243	31,07
8	7,54	0,243	31,03
9	6,69	0,23	29,09
10	6,98	0,23	30,35
Mittelwert	7,34	0,23	31,35
Standard- Abwei- chung	0,36	0,014	1,97

Tabelle 4.2-23: Reißfestigkeit von Iso Dam/mittel/Non Latex

4.2.10 Der Einfluß der Materialstärke auf die Reißfestigkeit

Die Stärke der Kofferdamfolien spielt eine große Rolle und hat einen großen Einfluß auf die Reißfestigkeit. Der Vergleich aller untersuchten Hersteller, Materialien und Stärken zeigt die unterschiedlichen Reißfestigkeiten graphisch an (Abbildung 4.2-22).

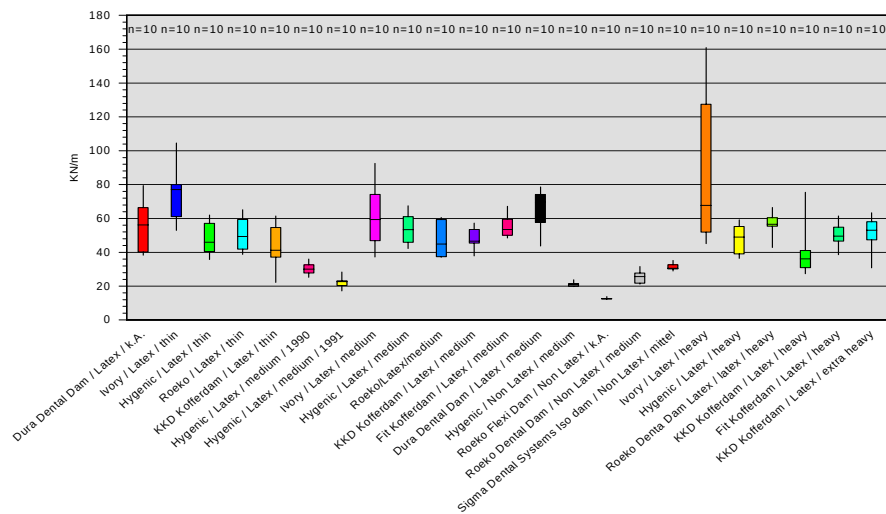


Abbildung 4.2-22: Vergleich der Reißfestigkeiten aller Gruppen

4.2.11 Herstellervergleich

Der Herstellervergleich derselben Stärke zwischen allen latexbasierenden Kofferdamfolien zeigt unterschiedliche Werte, abhängig von der jeweiligen Hersteller und Stärke (Abbildung 4.2-23, Abbildung 4.2-24, Abbildung 4.2-25)

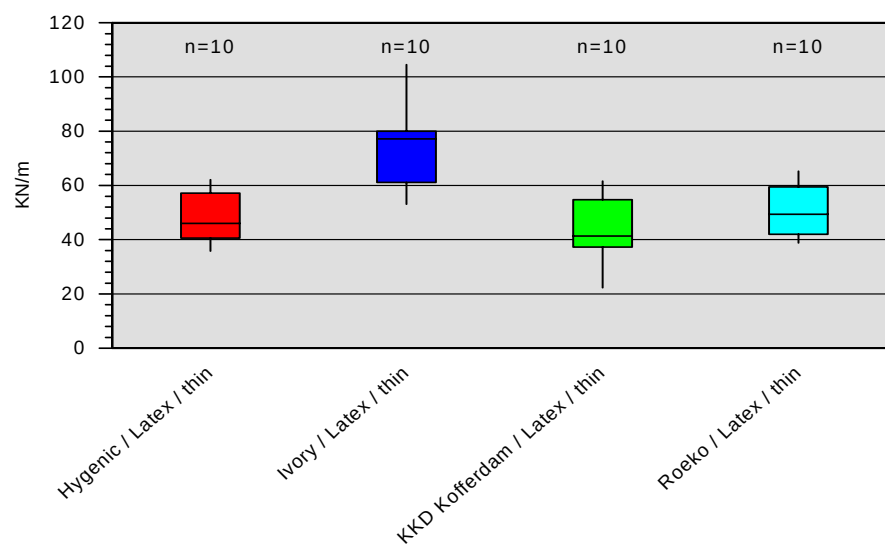


Abbildung 4.2-23: Herstellervergleich/Stärke: dünn

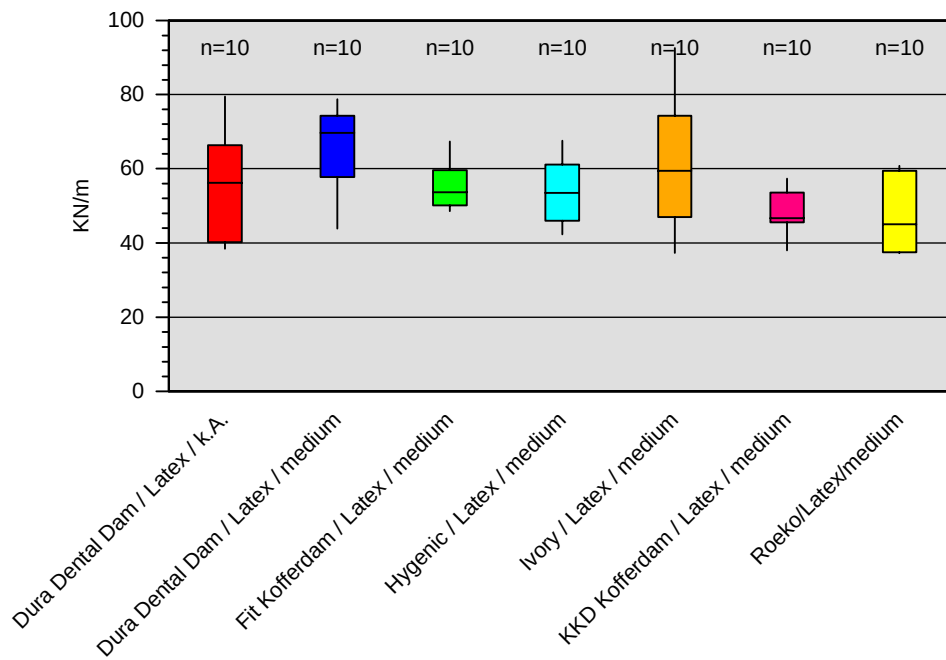


Abbildung 4.2-24: Herstellervergleich/Stärke: mittel

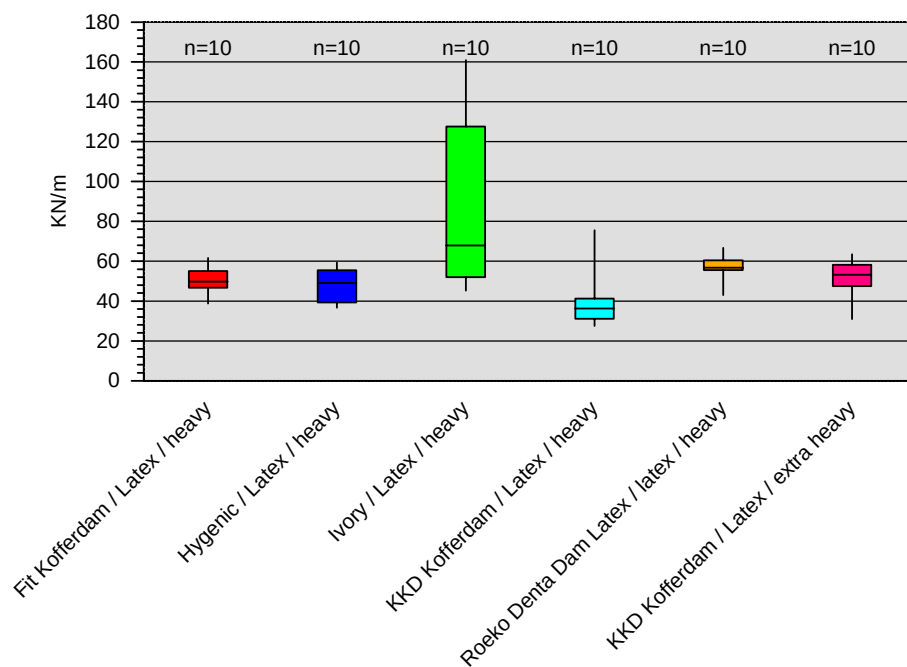


Abbildung 4.2-25: Herstellervergleich/Stärke: stark

Interessant ist hier zu sehen, daß die Teststreifen der Ivory/Latex/stark die höchste Standardabweichung der Bruchkraft aller Gruppen zeigten, abhängig von den unterschiedlichen Dicken der untersuchten Teststreifen.

Die Standardabweichung ist bei den „starken“ bzw. „heavy“ Folien deutlich größer als bei Folien der Stärken dünn und mittel.

4.2.12 Materialvergleich Latex vs. Non-Latex

Auffällig ist hier, daß die Werte von Roeko Dental Dam/non latex deutlich größer waren als die des Nachfolgematerials Roeko Flexi Dam/non latex und daß, obwohl Roeko Flexi Dam/non latex die besten Elongationswerte aller Gruppen aufweist.

Die Sigma Dental Systems Iso Dam/Non Latex/mittel Teststreifen zeigten die höchsten Reißfestigkeitswerte im Vergleich mit den anderen untersuchten Non Latex-Gruppen (Abbildung 4.2-26)

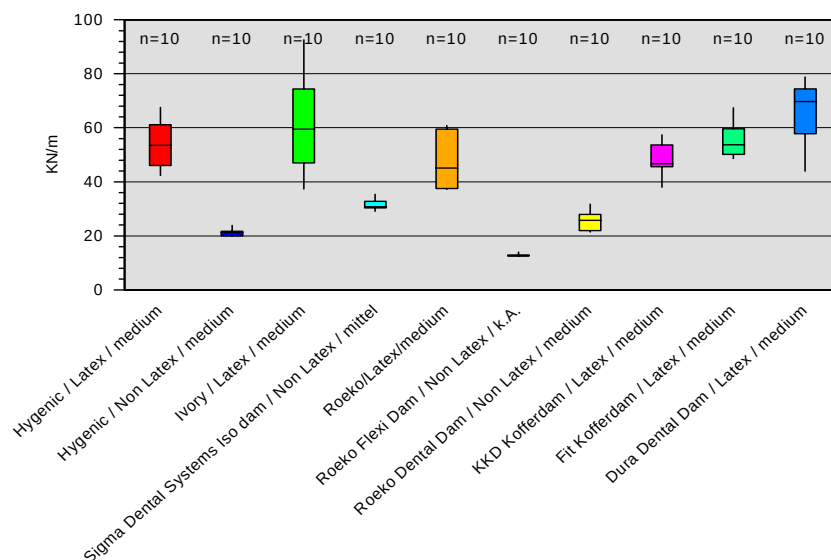


Abbildung 4.2-26: Materialvergleich Latex/Non-Latex (Stärke: medium, da nur in dieser Stärke genug Vergleichsprodukte div. Hersteller)

4.2.13 Alter des Materials

Die neu hergestellten latexbasierenden Kofferdamfolien derselben Herstellerstärke wiesen im Vergleich mit 11 und 12 Jahre alten Proben desselben Folienherstellers wesentlich höhere Elastizitätswerte auf (Abbildung 4.2-27). Die 11 jährige Proben wiesen etwas niedrige Werte als die 12 jährige Proben auf; dieser Unterschied ist jedoch signifikant.

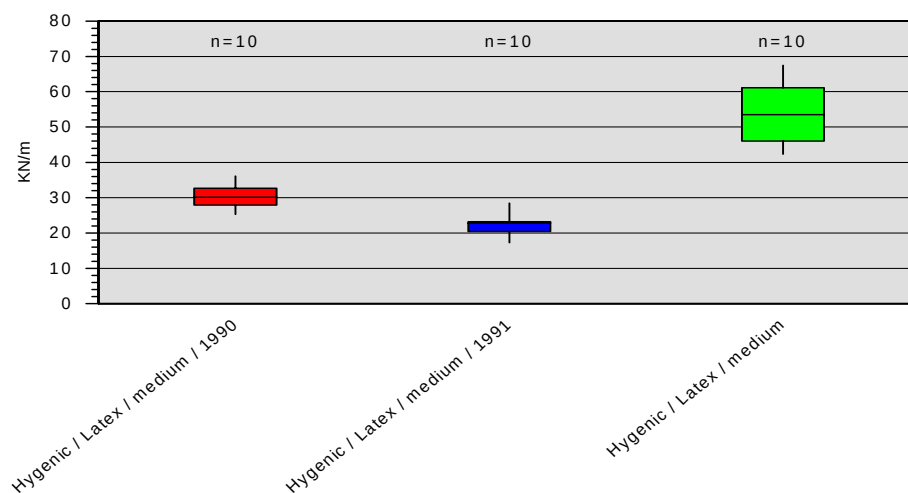


Abbildung 4.2-27: Altersvergleich/ Stärke: mittel

4.2.14 Auswertung der Ergebnisse der Reißfestigkeiten

Die Auswertung der Reißfestigkeit der verschiedenen Kofferdamfolien ergab einen signifikanten Unterschied, abhängig von der Stärke, dem Hersteller und dem Alter der Folien.

In der **Varianzanalyse** ergab sich ein hoch signifikanter Effekt der Kofferdamfolien und der Hersteller (Tabelle 4.2-24). Zudem zeigte sich eine Interaktion zwischen den beiden Einflüssen ($p < 0,001$).

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: kN/m

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	54333.570 ^a	17	3196.092	15.230	.000
Konstanter Term	310807.137	1	310807.14	1481.094	.000
HERST	18877.990	5	3775.598	17.992	.000
STARK	14332.050	6	2388.675	11.383	.000
HERST * STARK	3851.057	6	641.843	3.059	.007
Fehler	33995.655	162	209.850		
Gesamt	548735.703	180			
Korrigierte Gesamtvariation	88329.225	179			

a. R-Quadrat = .615 (korrigiertes R-Quadrat = .575)

Tabelle 4.2-24: Ergebnisse der Varianzanalyse bei Weiterreißversuch

Der **Tukey-HSD-Test** in der Tabelle Mehrfachvergleich (Tabelle 4.2-25) geben die Mittelwertdifferenzen mit der zugehörigen Signifikanz an. Dabei zeigt sich, daß die Proben verschiedener Hersteller derselben Untergruppe sich voneinander nicht unterscheiden, im Gegenteil unterscheiden sich die Proben verschiedener Hersteller der verschiedenen Untergruppen voneinander.

kN/m

Tukey-HSD^{a,b}

Code No.	N	Untergruppe									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20215	10	6.0730									
20300	10	12.8130	12.8130								
20202	10	21.2020	21.2020	21.2020							
20216	10	22.1190	22.1190	22.1190	22.1190						
20302	10	25.6780	25.6780	25.6780	25.6780						
20402	10		31.3540	31.3540	31.3540	31.3540					
20513	10			39.9750	39.9750	39.9750	39.9750				
20511	10				43.0810	43.0810	43.0810	43.0810			
20312	10					47.6260	47.6260	47.6260	47.6260		
20512	10					47.7900	47.7900	47.7900	47.7900		
20211	10					47.8670	47.8670	47.8670	47.8670		
20213	10					47.9990	47.9990	47.9990	47.9990		
20613	10					50.3280	50.3280	50.3280	50.3280		
20514	10					50.4460	50.4460	50.4460	50.4460		
20311	10					50.8210	50.8210	50.8210	50.8210		
20212	10						53.4330	53.4330	53.4330	53.4330	
20710	10						54.6800	54.6800	54.6800	54.6800	
20612	10						55.1570	55.1570	55.1570	55.1570	
20313	10						55.7720	55.7720	55.7720	55.7720	
20112	10							61.4570	61.4570	61.4570	
20712	10								65.9590	65.9590	
20111	10									74.5540	74.5540
20113	10										88.6430
Signifikanz		.117	.187	.169	.059	.124	.484	.200	.204	.055	.709

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 168.629".

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 10.000

b. Alpha = .05

Tabelle 4.2-25: Mehrfachvergleich (Tukey-HSD-Test)

4.3 Ergebnisse der Zugkraftversuche ohne Dummy

Die Ergebnisse lassen sich in 16 Untergruppen unterteilen abhängig vom Hersteller des Rahmens und vom jeweiligen Hersteller der darin eingespannten Kofferdamfolie.

Nachfolgend sind daher die Originalgraphen für jede Kombination Rahmen/Folienmaterial abgebildet und anschließend die resultierenden Meßwerte dargestellt.

4.3.1 Einfluß des Kofferdamrahmens Hygenic Master 6

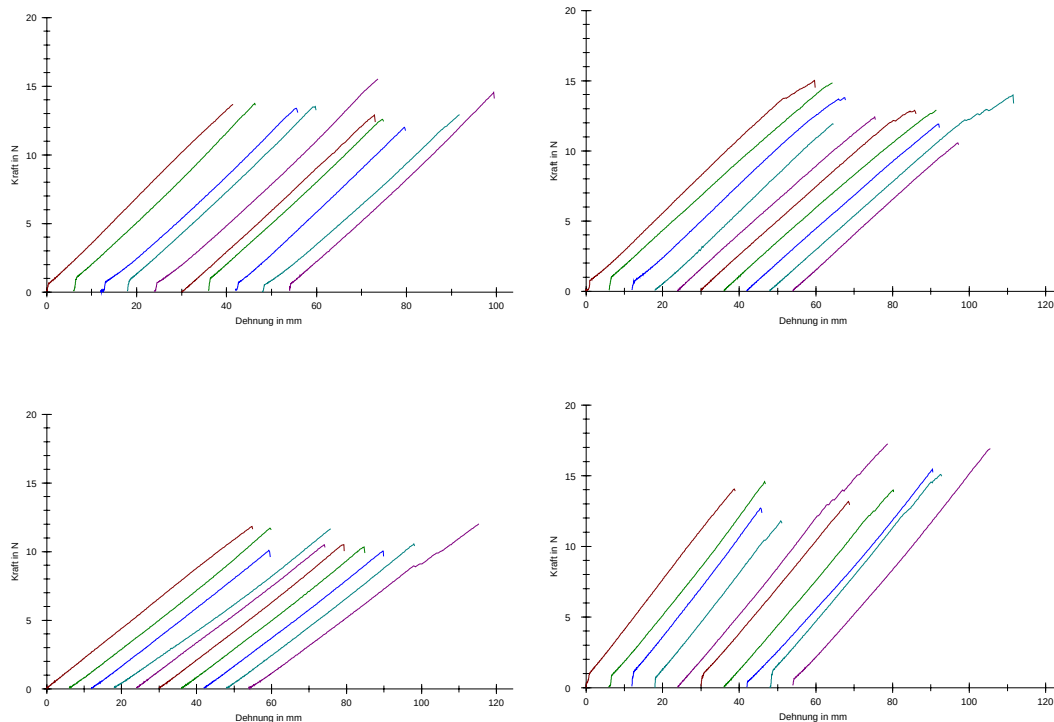


Abbildung 4.3-1: Kraft-Weg-Diagramme für den Rahmen Hygenic Master 6 und die Folien: Hygenic/mittel/Latex (links oben), Isodam/mittel/Non Latex (rechts oben), Ivory/mittel/Latex (links unten), Roeko/mittel/Latex (rechts unten)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller Proben läßt eine weitgehende Homogenität erkennen. Die Graphen verlaufen proportional und zeigten keine „Entspannungsphase“¹. Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt allerdings unterschiedliche Verlaufsängen (Abbildung 4.3-1).

Wie im Abschnitt 3.2.4 beschrieben wurde nachfolgend die Zugkraft bei 37 mm Ausdehnung und dabei die Spannung der Folie bei 1 N dokumentiert (Tabelle 4.3-1).

¹ Der für diese Arbeit geprägte Begriff „**Entspannungsphase**“ beschreibt jenen Zeitabschnitt des Dehnungsversuches, in dem die Folie ausweislich des Kraft-Weg-Diagramms noch keine elastische Deformation aufweist.

Rahmen: Hygenic Master 6							
Hygenic mittel/ Latex		Iso Dam mittel/non latex		Ivory mittel/ Latex		Roeko mittel/ Latex	
Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N
N	mm	N	mm	N	mm	N	mm
9,4	2,5	9	2,5	8,8	4	12,65	1
9,3	1	8,9	1	8,65	5	12	1,5
8	3,5	8,8	2,5	8,6	4,5	12,65	0,5
8,9	2	8,5	5	7,7	5	11,8	1,5
8,45	3,5	8	4,5	8,15	4,5	10,9	3,5
8,3	5,5	8,2	4,5	8,4	4,5	11,4	1
8,85	1,5	7,9	4,5	8,3	4,5	10,2	3,5
8,6	4,5	7,8	5	8,35	4,5	9,9	3
7,85	5,5	7,75	5	8,25	4,5	11,6	0,5
8,5	4	8,4	5,5	8,1	5	10,6	2,5
8,615	3,35	8,325	4	8,33	4,6	11,37	1,85
(arithmetische Mittelwerte)							

Tabelle 4.3-1: Zugkräfte des Kofferdamrahmens Hygenic Master 6 bei unterschiedlichen Folien

4.3.2 Einfluß des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame (SDS)

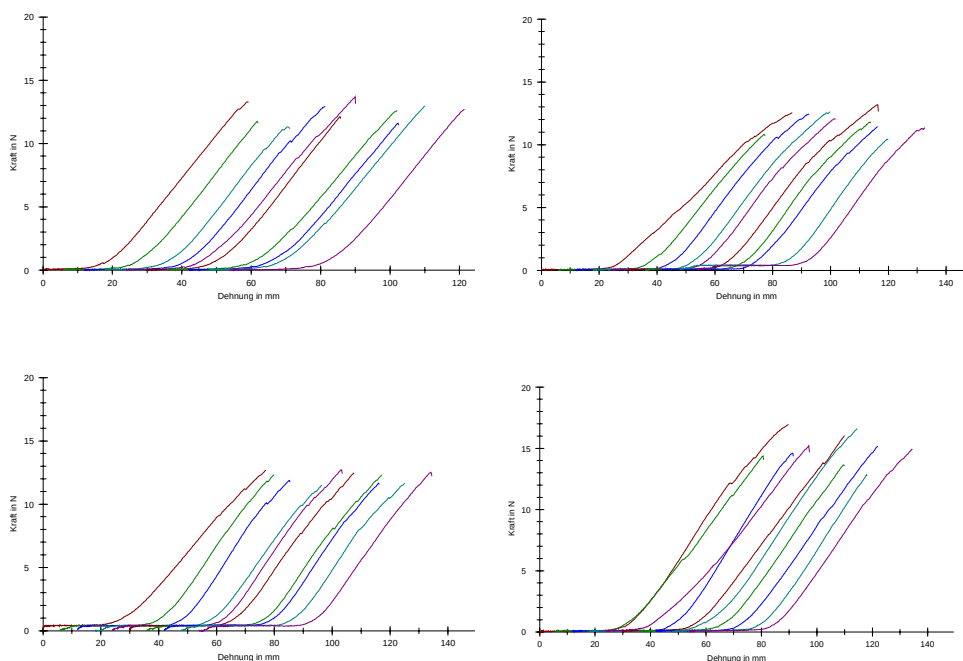


Abbildung 4.3-2: Kraft-Weg-Diagramme für Safe-T Frame Rahmen: Hygenic/mittel/Latex (links oben), Isodam/mittel/Non Latex (rechts oben), Ivory/mittel/Latex (links unten), Roeko/mittel/Latex (rechts unten)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller Proben lässt auch hier eine Homogenität erkennen und ist bei fast allen Folien kontinuierlich. Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt allerdings unterschiedliche Verlaufslängen. Im Gegensatz zu anderen Rahmen stellt es sich am Anfang des Kurvenverlaufs eine deutliche „Entspannungsphase“ dar (Abbildung 4.3-2).

Wie im Abschnitt 3.2.4 beschrieben wurde die Zugkraft bei 37 mm und die Spannung bei 1 N dokumentiert (Tabelle 4.3-2).

Rahmen: Safe-T Frame							
Hygenic mittel/ Latex		Iso Dam mittel/non latex		Ivory mittel/Latex		Roeko mittel/Latex	
Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N
N	mm	N	mm	N	mm	N	mm
5	23	3,05	27,5	3,5	26	2,4	32
3,7	21	2,4	31,5	1,9	32,5	4,15	26
2,8	29,5	2,2	33,5	1,4	34,5	2,7	30
2,9	28,5	1,8	34	0,6	33,5	2,9	30,5
3,2	26,5	2,4	33,5	1,05	36,5	2,1	32,5
3,85	25,5	1,9	34	1,5	34,5	2,4	30,5
2,2	30,5	1,7	35,5	0,5	39	2,6	31
2,2	29	2,2	32,5	1,3	36	2,5	31,5
3,15	26	1	32,5	1	37	2,3	32
1,1	34	0,9	32,5	0,8	38,5	2,45	31,5
3,01	27,35	1,955	32,7	1,355	34,8	2,65	30,75
(arithmetische Mittelwerte)							

Tabelle 4.3-2: Zugkräfte des Safe-T-Frame

4.3.3 Einfluß des Kofferdamrahmens nach YOUNG (Ivory)

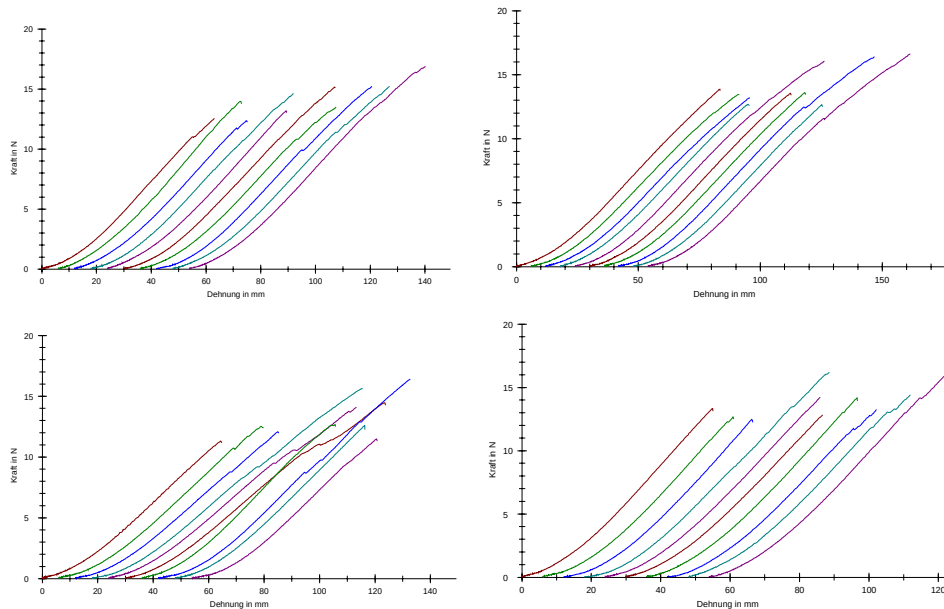


Abbildung 4.3-3: Kraft-Weg-Diagramme für den Young Rahmen:
 Hygenic/mittel/Latex (links oben), Isodam/mittel/Non Latex (rechts oben),
 Ivory/mittel/Latex (links unten), Roeko/mittel/Latex (rechts unten)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf aller Proben läßt auch hier eine starke Homogenität erkennen. Im Gegensatz zum Safe-T-Frame stellt sich hier ein sehr flacher S-förmiger Verlauf ohne Entspannungsphase dar. Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt unterschiedliche Verlaufslängen (Abbildung 4.3-3).

Wie im Abschnitt 3.2.4 beschrieben wurde die Zugkraft bei 37 mm und die Spannung bei 1 N dokumentiert (Tabelle 4.3-3).

Rahmen: Young							
Hygenic/mittel/ Latex		Iso Dam/mittel/non latex		Ivory/mittel/ Latex		Roeko/mittel/ Latex	
Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N
N	mm	N	mm	N	mm	N	mm
9,55	8,5	7,3	10,5	6,3	10,5	6,85	10,5
9,3	8,5	7	10,5	5,8	12,5	6,1	12
9,2	8,5	7,15	10,5	5,5	13	6,1	12,5
9	9	7,3	10	5,45	13	6	13,5
8,9	8	7,3	10	5,6	12	6	12,5
8,8	9	7,2	10,5	5,8	12	6,1	11,5
8,7	9,5	7,15	10,5	6,55	11,5	6,05	11,5
8,65	10	7,1	11	5,8	14	5,95	12,5
8,6	9	7,05	10,5	6,3	12,5	6,3	11,5
8,65	9	7	11	5,85	13,5	6,05	12
8,935	8,9	7,155	10,5	5,895	12,45	6,15	12
(arithmetische Mittelwerte)							

Tabelle 4.3-3: Zugkräfte des Young Rahmens

4.3.4 Einfluß des Kofferdamrahmens nach SAUVEUR

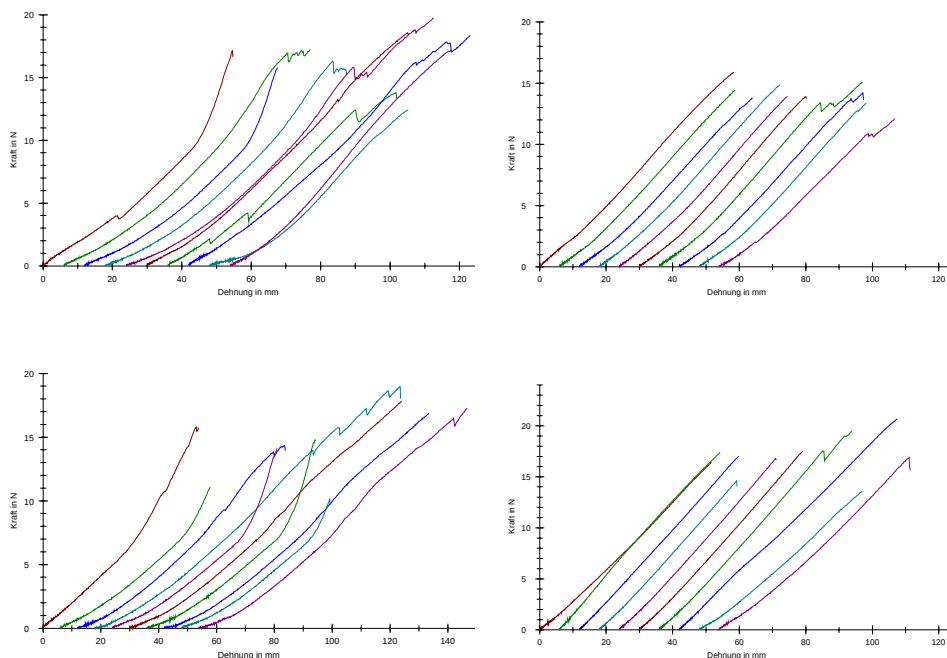


Abbildung 4.3-4: : Kraft-Weg-Diagramme für den Sauveur Rahmen:
Hygenic/mittel/Latex (links oben), Isodam/mittel/Non Latex (rechts oben), Iv-
ory/mittel/Latex (links unten), Roeko/mittel/Latex (rechts unten)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf der meisten Proben insbesondere im Fall der Kombination des Sauveur Rahmens/Hygenic mittel/Latex läßt keine Homogenität bzw. Kontinuität erkennen. Zudem stellen sich unterschiedliche Verlaufslängen dar. Im Gegensatz zum Safe-T-Frame zeigt der Kurvenverlauf hier keine „Entspannungsphase“ (Abbildung 4.3-4).

Wie im Abschnitt 3.2.4 beschrieben wurde nachfolgend auch hier die Zugkraft bei 37 mm und die Spannung bei 1 N dokumentiert (Tabelle 4.3-4).

Rahmen: nach Sauveur							
Hygenic/mittel/ Latex		Iso Dam/mittel/non latex		Ivory/mittel/ Latex		Roeko/mittel/ Latex	
Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N	Kraft Bei 37 mm	Dehnung bei 1 N
N	mm	N	mm	N	mm	N	mm
6,8	5	8,95	4,5	10,5	4,5	10,3	4,5
6,4	8,5	8,85	6	6,75	8,5	12,3	3,5
5,95	9,5	8,7	6	6,6	9,5	11,8	3,5
5,8	10	8,85	6	6	10	11,8	4
5,65	10,5	8,80	6	6,05	10	11,5	4
6,95	7,5	8,9	6	6,03	10	11,45	4
6,7	7,5	8,85	6	5,98	10,5	11,4	4
6,9	7,5	8,4	6,5	5,8	11,5	10,2	4,5
6,6	14,5	8,4	6,5	6,05	10,5	8,7	6,5
7,8	7,5	7,5	7,5	6	12	8,9	5,5
6,555	8,8	8,62	6,1	6,576	9,7	10,84	4,4
(arithmetische Mittelwerte)							

Tabelle 4.3-4: Zugkräfte des Rahmens nach Sauveur

In der **Varianzanalyse** zeigte sich ein hochsignifikanter Effekt der Rahmen und Folien (Tabelle 4.3-5), sowie eine ebenfalls hochsignifikante Interaktion zwischen den beiden Einflüssen ($p < 0,001$).

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: KRAFT

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	1388.029 ^a	15	92.535	171.856	.000
Konstanter Term	7066.426	1	7066.426	13123.730	.000
RAHMEN	1124.514	3	374.838	696.147	.000
FOLIE	99.286	3	33.095	61.464	.000
RAHMEN * FOLIE	164.229	9	18.248	33.890	.000
Fehler	77.536	144	.538		
Gesamt	8531.991	160			
Korrigierte Gesamtvariation	1465.565	159			

a. R-Quadrat = .947 (korrigiertes R-Quadrat = .942)

Tabelle 4.3-5: Varianzanalyse aller Kofferdamrahmen

Daraufhin wurde die Berechnung des Rahmeneinflusses für jeden einzelnen Folientyp getrennt wiederholt. Für alle vier Folien zeigte sich dabei ein signifikanter Unterschied zwischen den Rahmen ($p < 0,001$).

4.3.5 Kombination: alle Kofferdamrahmen mit der Ivory Folie/Latex

Wie im Rahmen der Beschreibung der Meßwerte des Safe-T-Frame erläutert weisen Kraft-Weg-Diagramme besonders bei diesem Kofferdamrahmen in Kombination mit allen untersuchten Folienarten eine Besonderheit auf: die anfängliche Elongation der Prüfmaschine ohne Einwirkung einer Zugkraft (daher „Entspannungsphase“ genannt). Um den Effekt zu verdeutlichen sind in diesem und den nachfolgenden drei Abschnitten noch einmal die Meßwerte der Kräfte [N] bei einer Dehnung von 37 mm sowie die davon abgeleiteten Dehnungswerte [mm] bei einer Kraft von 1 N angegeben, und zwar alle untersuchten Kofferdamrahmen in Kombination mit vier verschiedenen repräsentativ nach Ihren Eigenschaften ausgewählten Kofferdamfolien.

In diesem Abschnitt dargestellt sind die Meßwerte für die Folie Ivory/mittel/latex. Dabei zeigt sich, daß bei der zuvor als typisch für den klinischen Alltag bestimmten Dehnung von 37 mm die einwirkenden Kräfte für drei von vier Kofferdamrahmen wesentlich höher sind als für den Safe-T-Frame (Abbildung 4.3-5). Umgekehrt lagen

die Werte der möglichen Dehnung [mm] der Folien bei definierter Kraft von 1 N beim Safe-T-Frame deutlich über denen aller anderen Rahmen. Die ungünstigsten Werte zeigte in beiden Fällen der Rahmen Hygenic Master 6 (Abbildung 4.3-6).

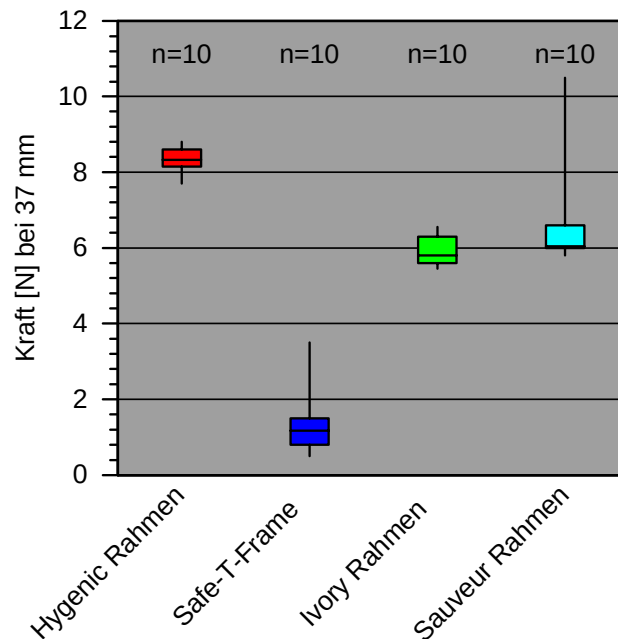


Abbildung 4.3-5: Kraftvergleich [N]/Kombination der Ivory Folie mit allen Rahmen bei einer Dehnung von 37 mm

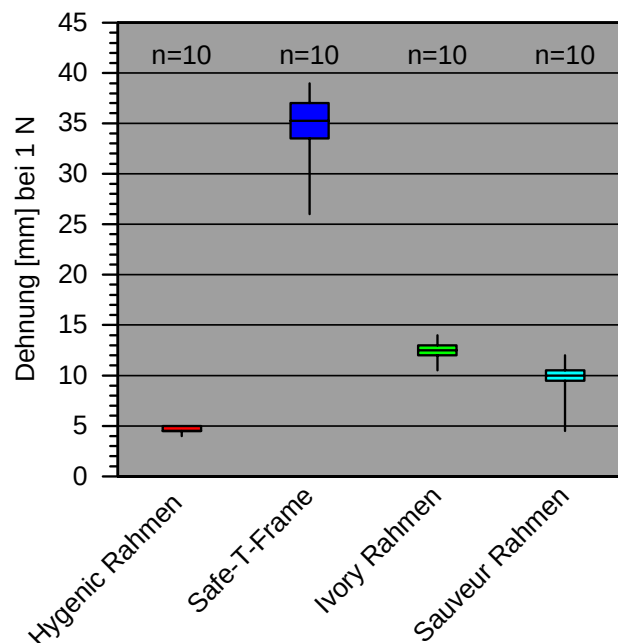


Abbildung 4.3-6: Dehnungsvergleich [mm]/Kombination der Ivory Folie mit allen Rahmen bei einer Kraft von 1 N

Die **Post-hoc Analysen** in der Tabelle Mehrfachvergleich (Tabelle 4.3-6) geben die paarweisen Mittelwertdifferenzen mit den zugehörigen Signifikanzen an. Dabei zeigt sich, daß der Rahmen Safe-T-Frame sich von den Rahmen von Hygenic und denen nach Young sowie Sauveur im Bezug auf die Kraft hochsignifikant unterscheidet.

Mehrfachvergleiche^a

Abhängige Variable: KRAFT

Scheffé

(I) RAHMEN	(J) RAHMEN	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Ivory	Hygenic	-2.4350*	.38566	.000	-3.5659	-1.3041
	Sauveur	-.6810	.38566	.387	-1.8119	.4499
	Safe T	4.5400*	.38566	.000	3.4091	5.6709
Hygenic	Ivory	2.4350*	.38566	.000	1.3041	3.5659
	Sauveur	1.7540*	.38566	.001	.6231	2.8849
	Safe T	6.9750*	.38566	.000	5.8441	8.1059
Sauveur	Ivory	.6810	.38566	.387	-.4499	1.8119
	Hygenic	-1.7540*	.38566	.001	-2.8849	-.6231
	Safe T	5.2210*	.38566	.000	4.0901	6.3519
Safe T	Ivory	-4.5400*	.38566	.000	-5.6709	-3.4091
	Hygenic	-6.9750*	.38566	.000	-8.1059	-5.8441
	Sauveur	-5.2210*	.38566	.000	-6.3519	-4.0901

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe .05 signifikant.

a. FOLIE = Heraeus Kulzer

Tabelle 4.3-6: Mehrfachvergleich / Kombination der Ivory Folie mit allen Rahmen bei einer Kraft von 1 N

4.3.6 Kombination aller Kofferdamrahmen mit der Hygenic-Folie/Latex

Im vorigen Abschnitt wurden die vier verschiedenen Kofferdamrahmen mit der Latexfolie der Stärke medium des Herstellers Ivory kombiniert. Um einen Zufallswert auszuschließen wurden die Versuche in diesem Abschnitt in der Kombination mit vergleichbaren Latex-Folien des Herstellers Hygenic untersucht und dargestellt. Auch hier hat der Kofferdamrahmen Safe-T-Frame die günstigsten Werte gezeigt, und zwar sowohl bei dem Kraftvergleich [N] bei 37mm Dehnung (Abbildung 4.3-7) als auch bei dem Spannungsvergleich [mm] bei einer dehnenden Kraft von 1 N (Abbildung 4.3-8). Im Gegensatz zu den anderen Rahmen zeigte der Rahmen aus der

Firma des Folienherstellers Hygenic die ungünstigsten Werte, und zwar sowohl bei dem Kraftvergleich als auch bei dem Spannungsvergleich.

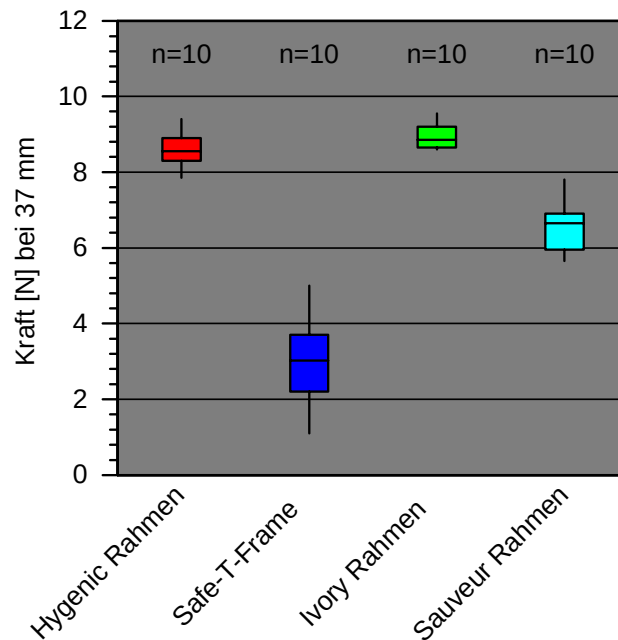


Abbildung 4.3-7: Kraftvergleich [N]/Kombination der Hygenic Folie mit allen Rahmen bei einer Dehnung von 37 mm

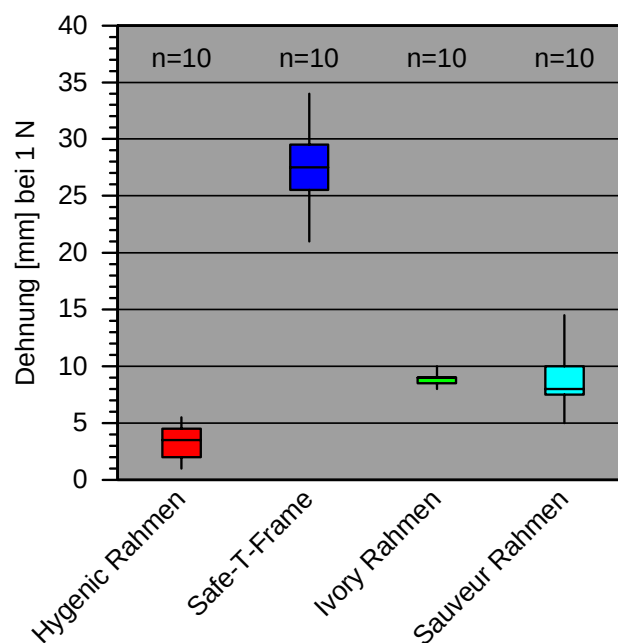


Abbildung 4.3-8: Dehnungsvergleich [mm]/Kombination der Hygenic Folie mit allen Rahmen bei einer Kraft von 1N

Die **Post-hoc Analysen** in der Tabelle Mehrfachvergleich geben erneut die paarweisen Mittelwertdifferenzen mit der zugehörigen Signifikanz an. Dabei zeigte sich, daß der Safe-T-Frame sich von den anderen drei Rahmen im Bezug auf die Kraft hochsignifikant unterscheidet. Unter den drei anderen Rahmen trennt sich der Rahmen nach Sauveur von den beiden Rahmen von Hygenic und nach Young („Ivory“); die Unterscheidung zwischen den Rahmen von Hygenic und Ivory hingegen ist nicht signifikant (Tabelle 4.3-7).

Mehrfachvergleiche^a

Abhängige Variable: KRAFT
Scheffé

(I) RAHMEN	(J) RAHMEN	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Ivory	Hygenic	.3200	.30878	.784	-.5854	1.2254
	Sauveur	2.3800*	.30878	.000	1.4746	3.2854
	Safe T	5.9250*	.30878	.000	5.0196	6.8304
Hygenic	Ivory	-.3200	.30878	.784	-1.2254	.5854
	Sauveur	2.0600*	.30878	.000	1.1546	2.9654
	Safe T	5.6050*	.30878	.000	4.6996	6.5104
Sauveur	Ivory	-2.3800*	.30878	.000	-3.2854	-1.4746
	Hygenic	-2.0600*	.30878	.000	-2.9654	-1.1546
	Safe T	3.5450*	.30878	.000	2.6396	4.4504
Safe T	Ivory	-5.9250*	.30878	.000	-6.8304	-5.0196
	Hygenic	-5.6050*	.30878	.000	-6.5104	-4.6996
	Sauveur	-3.5450*	.30878	.000	-4.4504	-2.6396

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe .05 signifikant.

a. FOLIE = Hygenic

Tabelle 4.3-7: Mehrfachvergleich/Kombination der Hygenic Folie mit allen anderen Kofferdamrahmen bei einer Kraft von 1 N

4.3.7 Kombination: alle Kofferdamrahmen mit der Roeko-Folie/Latex

Im dritten derartigen Versuch wurden alle vier Rahmen mit der Latex-Folie des Herstellers Roeko kombiniert. Die folgenden Grafiken stellen dar, daß die Werte des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame sich in dieser Kombination erneut von allen anderen Rahmen deutlich unterscheiden, sowohl bei Kraftvergleich [N] bei 37 mm als auch bei Spannungsvergleich [mm] bei 1 N (Abbildung 4.3-9, Abbildung 4.3-10).

Interessant ist hier zu sehen, daß in dieser Kombination der Kofferdamrahmen nach Young („Ivory“) deutlich günstigere Werte erreichte als die Kofferdamrahmen von Hygenic sowie nach Sauveur – anders als zuvor in den Kombinationen mit den Latex-Folien der Hersteller Ivory und Hygenic.

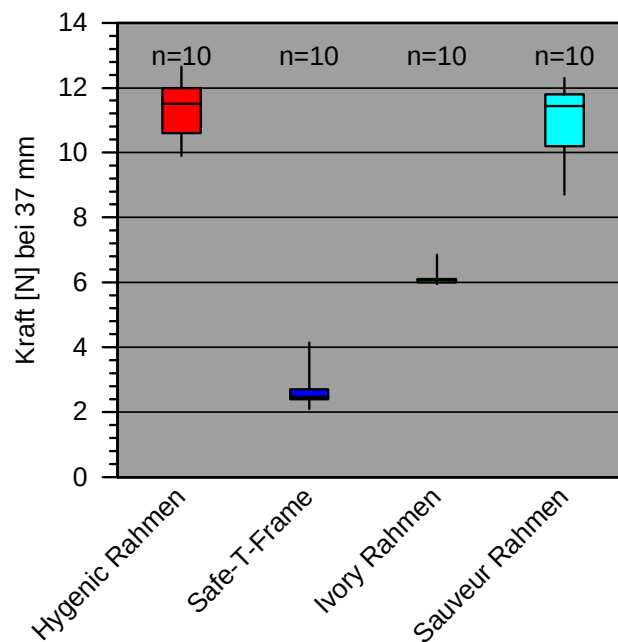


Abbildung 4.3-9: Kraftvergleich [N]/Kombination der Roeko Folie mit allen Rahmen bei einer Dehnung von 37 mm

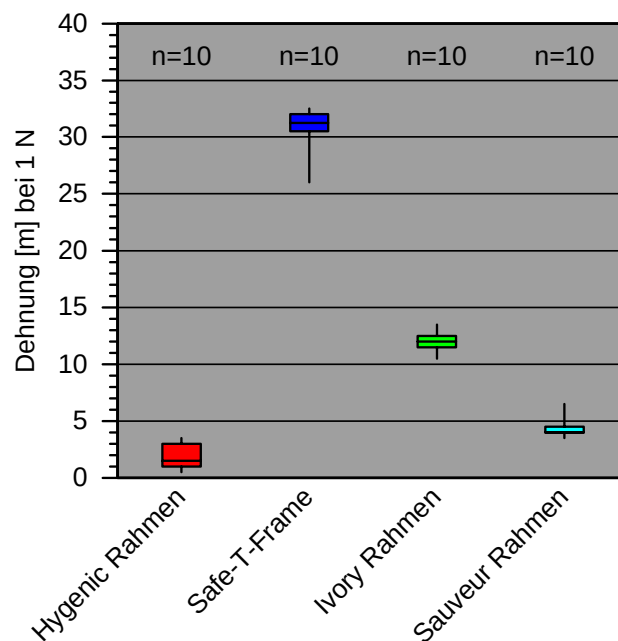


Abbildung 4.3-10: Dehnungsvergleich [mm]/Kombination der Roeko-Folie mit allen Rahmen bei einer Kraft von 1 N

Die **Post-hoc Analysen** in der Tabelle Mehrfachvergleich geben auch hier die paarweisen Mittelwertdifferenzen und Signifikanzwerte an (Tabelle 4.3-8).

Mehrfachvergleiche^a

Abhängige Variable: KRAFT
Scheffé

(I) RAHMEN	(J) RAHMEN	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Ivory	Hygenic	-5.2200*	.37970	.000	-6.3334	-4.1066
	Sauveur	-4.6850*	.37970	.000	-5.7984	-3.5716
	Safe T	3.5000*	.37970	.000	2.3866	4.6134
Hygenic	Ivory	5.2200*	.37970	.000	4.1066	6.3334
	Sauveur	.5350	.37970	.581	-.5784	1.6484
	Safe T	8.7200*	.37970	.000	7.6066	9.8334
Sauveur	Ivory	4.6850*	.37970	.000	3.5716	5.7984
	Hygenic	-.5350	.37970	.581	-1.6484	.5784
	Safe T	8.1850*	.37970	.000	7.0716	9.2984
Safe T	Ivory	-3.5000*	.37970	.000	-4.6134	-2.3866
	Hygenic	-8.7200*	.37970	.000	-9.8334	-7.6066
	Sauveur	-8.1850*	.37970	.000	-9.2984	-7.0716

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe .05 signifikant.

a. FOLIE = Roeko

Tabelle 4.3-8: Mehrfachvergleich/Kombination der Roeko Folie mit allen anderen Kofferdamrahmen bei einer Kraft von 1 N

4.3.8 Kombination: alle Kofferdamrahmen mit der Isodam-Folie/Non-Latex

Als Vergleich mit den drei zuvor beschriebenen Latex-Folien sind nachfolgend nun die latexfreien Isodam-Folien in Kombination mit allen vier Kofferdamrahmen untersucht worden. Die Isodam-Folien wurden gewählt, weil ihre Eigenschaften ausweislich der Versuche in den vorigen Abschnitten am besten den von der ADA für Latex-Folien geforderten Eigenschaften entsprechen. Genau so wie in der anderen Kombinationen zeigt der Kofferdamrahmen Safe-T-Frame auch hier die besten Werte sowohl bei dem Kraftvergleich [N] bei 37mm (Abbildung 4.3-11) als auch bei dem Spannungsvergleich [mm] bei 1 N (Abbildung 4.3-12). Das Verhältnis der Meßwerte der anderen Folien untereinander entspricht der Situation bei der zuvor

untersuchten Roeko-Folie, mit einer signifikanten Unterscheidung des Ivory-Rahmens vom Safe-T-Frame einerseits und den Rahmen Hygenic Master 6 und nach Sauveur andererseits. Die letztgenannten untereinander erreichen bei der gewählten Größe der Stichprobe keine signifikante Unterscheidungskraft.

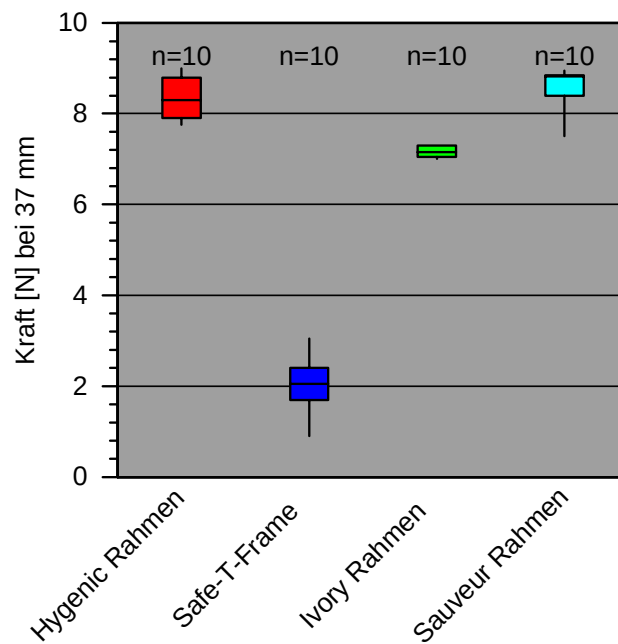


Abbildung 4.3-11: Kraftvergleich [N]/Kombination der Isodam Folie mit allen Rahmen bei einer Dehnung von 37 mm

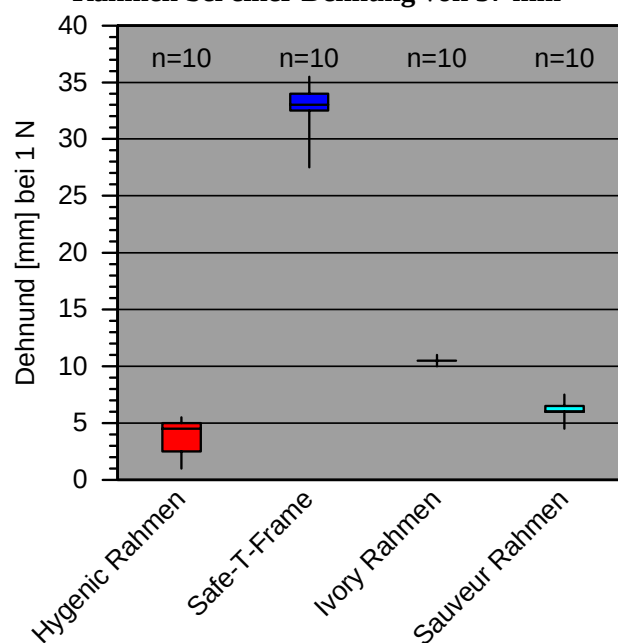


Abbildung 4.3-12: Dehnungsvergleich [mm]/Kombination der Isodam-Folie mit allen Rahmen bei einer Kraft von 1 N

Die **Post-hoc Analysen** in der Tabelle Mehrfachvergleich mit den paarweisen Mittelwertdifferenzen und zugehörigen Signifikanzen sind nachfolgend tabellarisch aufgeführt (Tabelle 4.3-9).

Mehrfachvergleiche^a

Abhängige Variable: KRAFT

Scheffé

(I) RAHMEN	(J) RAHMEN	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Ivory	Hygenic	-1.1700*	.20618	.000	-1.7746	-.5654
	Sauveur	-1.4650*	.20618	.000	-2.0696	-.8604
	Safe T	5.2000*	.20618	.000	4.5954	5.8046
Hygenic	Ivory	1.1700*	.20618	.000	.5654	1.7746
	Sauveur	-.2950	.20618	.569	-.8996	.3096
	Safe T	6.3700*	.20618	.000	5.7654	6.9746
Sauveur	Ivory	1.4650*	.20618	.000	.8604	2.0696
	Hygenic	.2950	.20618	.569	-.3096	.8996
	Safe T	6.6650*	.20618	.000	6.0604	7.2696
Safe T	Ivory	-5.2000*	.20618	.000	-5.8046	-4.5954
	Hygenic	-6.3700*	.20618	.000	-6.9746	-5.7654
	Sauveur	-6.6650*	.20618	.000	-7.2696	-6.0604

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe .05 signifikant.

a. FOLIE = Sigma Dental

Tabelle 4.3-9: Mehrfachvergleich/Kombination: Iso Dam Folie mit allen anderen Kofferdamrahmen

Zusammenfassend ist festzustellen, daß bei Kombination des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame mit allen vier untersuchten Folien bei einheitlicher Dehnung [mm] signifikant niedrigere Kräfte auf die Kofferdamklammer einwirken. Umgekehrt erlaubt die Kombination des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame mit allen vier untersuchten Folien bei einheitlich großer einwirkender Kraft [N] signifikant weitere Dehnungen, bevor die Kofferdamklammer abrutscht, als bei allen anderen untersuchten Kombinationen.

4.4 Zugkraftergebnisse mit Dummy

Analog zum Kapitel 4.3 werden im nachfolgenden letzten Kapitel 4.4. die Ergebnisse der Untersuchungen zur letzten Versuchsserie dargestellt. Von den vorgenannten Untersuchungen unterscheiden sich diese insoweit, als hier die Kombination aus Kofferdam, Kofferdamfolie und befestigender Kofferdamklammer nicht allein „in vitro“ in einer Universalprüfmaschine befestigt wurde. Statt dessen wurden die Versuche erstmalig der klinischen Situation nachempfunden unter Einbeziehung eines Patientensimulators (Dummy). Das Ziel war es hier, zu prüfen, ob sich die zuvor gemessenen Werte auch unter einer der klinischen Wirklichkeit maximal angenäherten Situation inklusive die des Mundöffnung umgebenden Weichgewebes bestätigen. Die Ergebnisse lassen sich erneut in 16 Untergruppen unterteilen, abhängig primär von Rahmenhersteller und sekundär dem Hersteller der Kofferdamfolien.

4.4.1 Einfluß des Kofferdamrahmens Hygenic Master 6

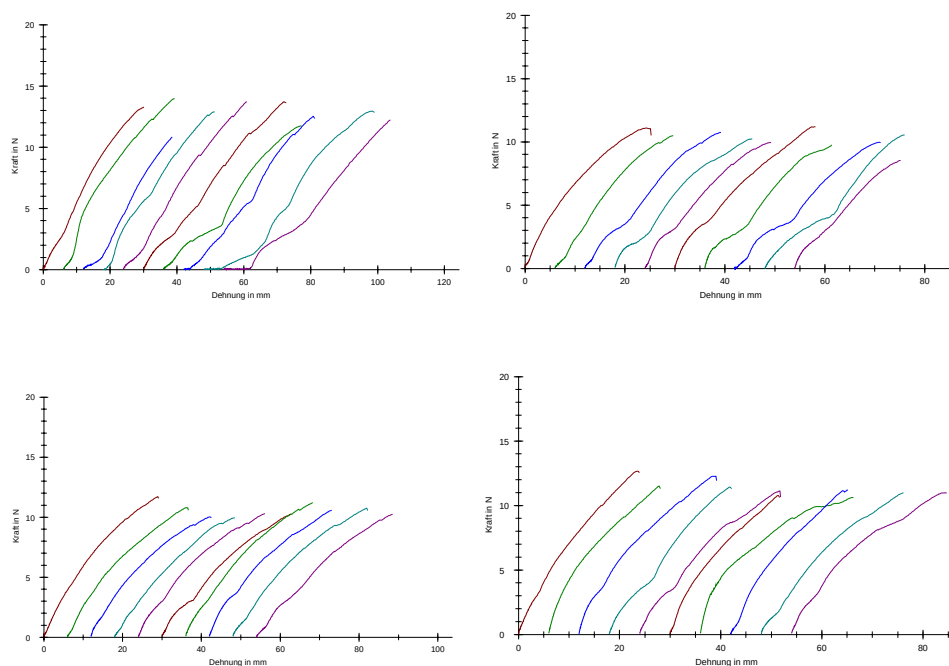


Abbildung 4.4-1: Kraft-Weg-Diagramme für den Rahmen Hygenic Master 6:
 Hygenic/mittel/Latex (links oben), Isodam/mittel/Non Latex (rechts oben),
 Ivory/mittel/Latex (links unten), Roeko/mittel/Latex (rechts unten)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf der meisten Proben läßt keine Homogenität erkennen. Außerdem stellt ein irregulärer Verlauf dar, ohne Anzeichen einer Entspannungsphase. Ausnahmen bilden die Proben Nr. 9 und 10. Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt zudem unterschiedliche Verlaufslängen (Abbildung 4.4-1). Wie im Abschnitt 3.2.4 beschrieben wurde anschließend die Spannung bei 1 N dokumentiert (Tabelle 4.4-1).

Rahmen: Hygenic Master 6			
Hygenic mittel/Latex	Iso Dam mittel/Non-Latex	Ivory mittel/Latex	Roeko mittel/Latex
Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N
mm	mm	mm	mm
2	2	2	1,5
3	3,5	2,5	1
6,5	3	2	1
3	1,5	3	1,5
4,5	2	1,5	1,5
2	1	2	1,2
4	1,5	1,5	0,5
6,5	4,5	1,5	2,5
14	2,5	2,5	2
11	1,5	3,5	1,5
5,65	2,3	2,2	1,42
(arithmetische Mittelwerte)			

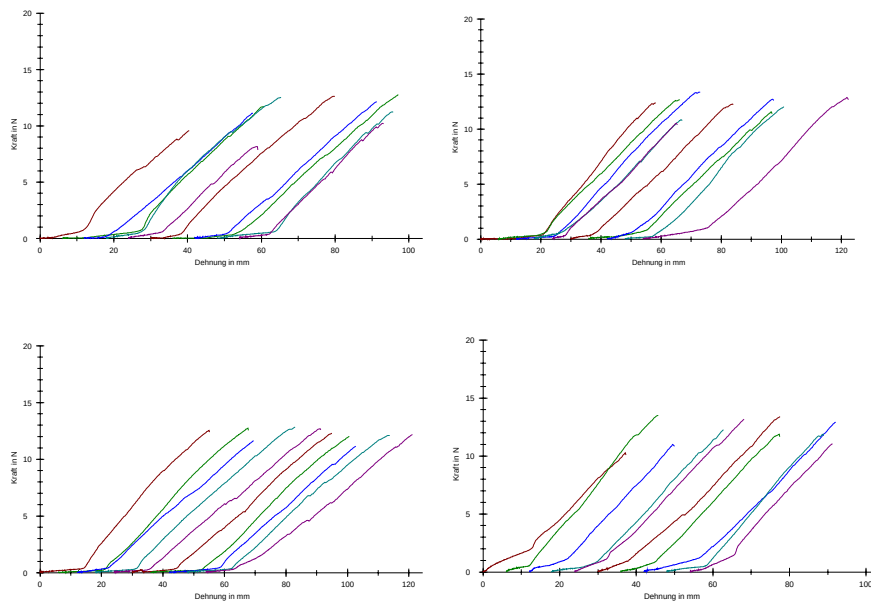
Tabelle 4.4-1: Dehnung der Kofferdamfolie im Fall des Rahmens von Hygenic bei einer Folienspannung in der Größe einer Zugkraft von 1 N

4.4.2 Einfluß des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf der meisten Proben läßt hier eine deutliche Homogenität erkennen. Der Kurvenverlauf einzelner Kurven zeigt zwar auch unterschiedliche Verlaufslängen. Im Gegensatz zu anderen Rahmen stellt es sich aber am Anfang praktisch aller Kurvenverläufe eine deutliche Entspannungsphase dar (Abbildung 4.4-2).

Wie im Abschnitt 3.2.4 beschrieben wurde nachfolgend die Spannung bei 1 N dokumentiert (Tabelle 4.4-2).



**Abbildung 4.4-2: Kraft-Weg-Diagramme für den Rahmen Safe-T Frame:
Hygenic/mittel/Latex (links oben), Isodam/mittel/Non Latex (rechts oben),
Ivory/mittel/Latex (links unten), Roeko/mittel/Latex (rechts unten)**

Rahmen: Safe-T-Frame			
Hygenic/mittel/ Latex	Iso Dam/mittel/ Non-Latex	Ivory/mittel/ Latex	Roeko/mittel/ Latex
Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N
mm	mm	mm	mm
17,5	25	18	7,5
30	19	20	10
13,5	17,5	15	13
15	12,5	17,5	17
14,5	7,5	16,5	11
13,5	11,5	19	11,5
27,5	23	23	13
15	12	20,5	17,5
23	15,5	19,5	15,5
13,5	24,5	16,5	12
18,3	16,8	18,55	12,8
(arithmetische Mittelwerte)			

**Tabelle 4.4-2: Dehnung der Kofferdamfolie im Fall des Rahmens Safe-T-Frame
bei einer Folienspannung in der Größe einer Zugkraft von 1 N**

4.4.3 Einfluß des Kofferdamrahmens nach YOUNG (Ivory)

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Der Kurvenverlauf bei der Mehrheit der Proben läßt eine deutliche Homogenität erkennen. Lediglich in der Kombination Rahmen nach Young/Latex-Folie von Roeko stellt sich bei mehr als der Hälfte der Proben ein irregulärer Kurvenverlauf dar, der darauf hindeutet, daß die Folie in mehreren Schritten nachgegeben hat. Dies könnte auf einen instabilen Halt der Folie auf dem Kofferdamrahmen hindeuten. Zudem zeigt hier der Kurvenverlauf einzelner Kurven abweichende Verlaufslängen (Abbildung 4.4-3). Auch in diesem Fall wurde – wie im Abschnitt 3.2.4 beschrieben – die Dehnung [mm] bei einer Spannung der Folie bzw. einer einwirkenden Kraft 1 N erfaßt und dokumentiert (Tabelle 4.4-3).

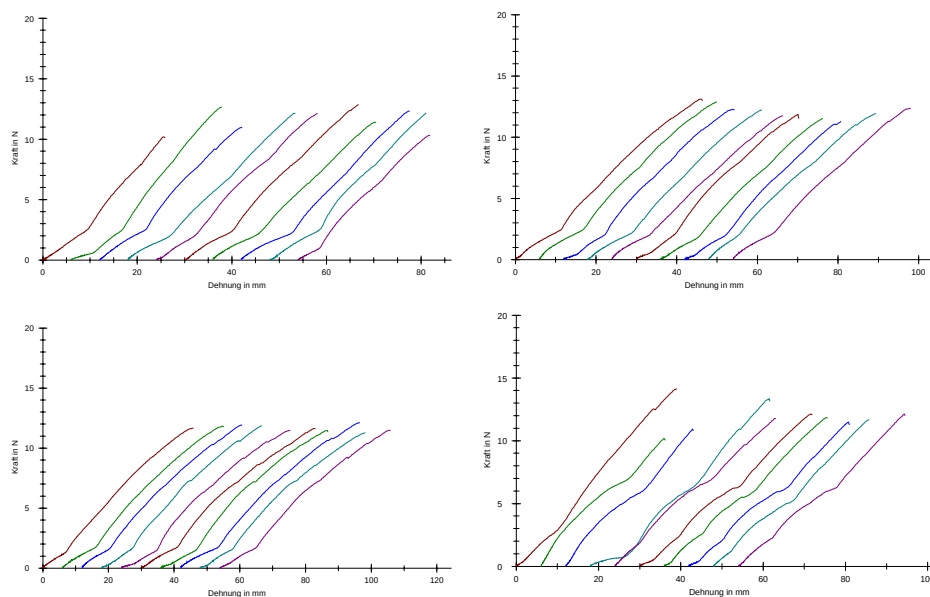


Abbildung 4.4-3: Kraft-Weg-Diagramme für den Rahmen Ivory: Hygenic/mittel/Latex (links oben), Isodam/mittel/Non Latex (rechts oben), Ivory/mittel/Latex (links unten), Roeko/mittel/Latex (rechts unten)

Rahmen: Young			
Hygenic/mittel/ Latex	Iso Dam/mittel/ Non-Latex	Ivory/mittel/ Latex	Roeko/mittel/ Latex
Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N
mm	mm	mm	mm
6	4,5	5,5	4
9,5	4	6	2
5,5	11	5,5	2,5
5,6	5,5	7	10,5
6,5	4,5	9	3
5,5	7	6,5	5,5
6	6,5	8,5	3,5
5,5	7	7	4,5
6,5	4	7,5	4
8	5	7,5	3,5
6,46	5,9	7	4,3
(arithmetische Mittelwerte)			

Tabelle 4.4-3: Dehnung der Kofferdamfolie im Fall des Rahmens nach YOUNG bei einer Folienspannung in der Größe einer Zugkraft von 1 N

4.4.4 Einfluß des Kofferdamrahmens nach SAUVEUR

Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme

Beim Kurvenverlauf aller Folien nach Befestigung auf dem Rahmen nach Sauveur fällt auf, daß die Kurvenverläufe keinerlei Homogenität erkennen lassen. Im Gegensatz zu den anderen Rahmen stellen sich die Kurvenverläufe praktisch alle als irregulär dar. Zudem ist der Verlauf der Kurven bei der Mehrheit der Proben unkontinuierlich und zeigt kurz vor dem Moment der Ablösung der Kofferdamklammer vom Klammerzahn in vielen Fällen eine Inkontinuität. Dieser Verlauf der Kurven stellt einen plötzlichen Rückgang der Kraft dar; dies läßt auf eine plötzliche Lockerung des Verbundes Kofferdamrahmen+Kofferdamfolie schließen. Trotz anfänglich geringer Elongation speziell in Kombination mit den Folien des Herstellers Ivory läßt sich eine regelrechte Entspannungsphase ohne mit Anstieg der Elongation ohne jede elastische Deformation in keinem Fall erkennen (Abbildung 4.4-4).

Wie im Abschnitt 3.2.4 beschrieben wurde die Spannung bei 1 N dokumentiert (Tabelle 4.4-4).

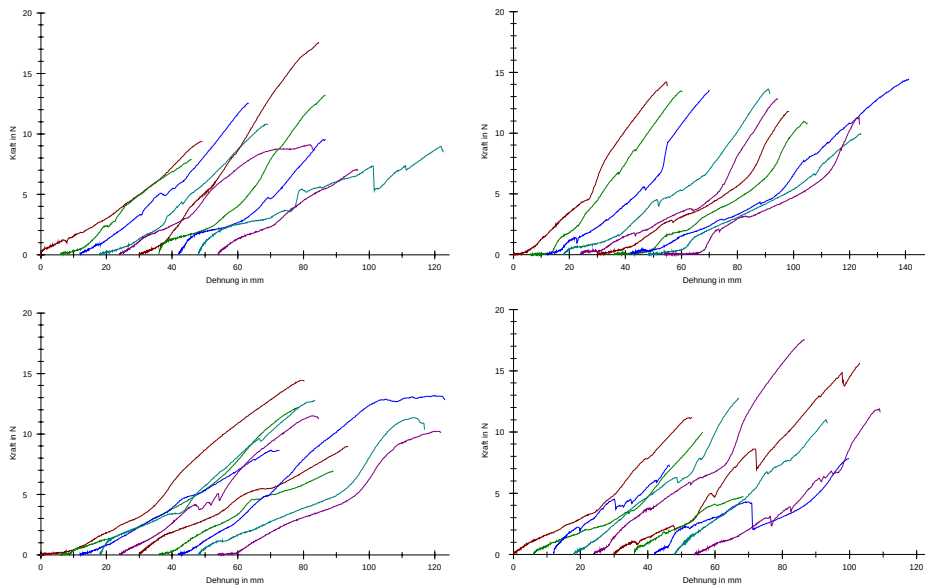


Abbildung 4.4-4: Kraft-Weg-Diagramme für den Rahmen nach Sauveur: Hygenic/mittel/Latex (links oben), Isodam/mittel/Non Latex (rechts oben), Ivory/mittel/Latex (links unten), Roeko/mittel/Latex (rechts unten)

Rahmen: Nach Sauveur			
Hygenic/mittel/ Latex	Iso Dam/mittel/ Non-Latex	Ivory/mittel/ Latex	Roeko/mittel/ Latex
Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N	Dehnung bei 1N
Mm	mm	mm	mm
6	8	16	5,5
10,5	9	12,5	6,5
8	7	11,5	2
11,5	13	2	6
6,5	11	8	5,5
8,5	13,5	5	6
2	15	10	4,5
2,5	13,5	8,5	5,5
2,5	14	6,5	3,5
5	14,5	12,5	8,5
6,3	11,85	9,25	5,35
(arithmetische Mittelwerte)			

Tabelle 4.4-4: Dehnung der Kofferdamfolie im Fall des Rahmens nach SAUVEURS bei einer Folienspannung in der Größe einer Zugkraft von 1 N

In der **Varianzanalyse** ergab sich eine hochsignifikanter Effekt sowohl aller vier Kofferdamrahmen als auch der eingesetzten Kofferdamfolien (Tabelle 4.4-5). Zudem zeigte sich eine Interaktion zwischen den beiden Einflüssen ($p < 0,001$).

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: SPANNUNG

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	4780.064 ^a	15	318.671	31.531	.000
Konstanter Term	11294.641	1	11294.641	1117.555	.000
RAHMEN	4159.923	3	1386.641	137.202	.000
FOLIE	316.168	3	105.389	10.428	.000
RAHMEN * FOLIE	303.973	9	33.775	3.342	.001
Fehler	1455.345	144	10.107		
Gesamt	17530.050	160			
Korrigierte Gesamtvariation	6235.409	159			

a. R-Quadrat = .767 (korrigiertes R-Quadrat = .742)

Tabelle 4.4-5: Varianzanalyse aller Kofferdamrahmen

Um diese Interaktion aufzuklären wurde nachfolgend wie im Kapitel 4.3 die Berechnung des Rahmeneinflusses für jeden einzelnen Folientyp getrennt wiederholt.

4.4.5 Kombination: alle Kofferdamrahmen mit Ivory Folie/ Latex

In der folgenden Grafik wird die Kombination der Kofferdamfolie nach Ivory mit den vier untersuchten Kofferdamrahmen dargestellt. Dabei zeigt sich, daß bei Isolation eines unteren Molars mit der Kombination des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame und der hier dargestellten Ivory-Folie deutlich höhere Dehnungswerte auftreten als bei der Kombination der gleichen Folie mit allen anderen Rahmentypen. zeigte im Vergleich mit den anderen Rahmen. Im Gegensatz dazu waren die Dehnungswerte für den Rahmen Hygenic Master 6 am kleinsten (Abbildung 4.4-5).

Durch die Darstellung als Boxplot gut zu erkennen ist, daß die Meßwerte für den Kofferdamrahmen nach Sauveur in Kombination mit der gleichen Folie mit Abstand am meisten streuen.

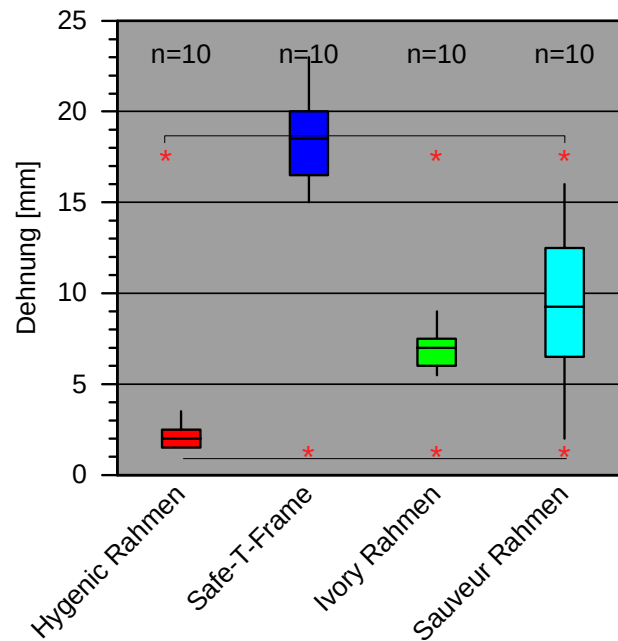


Abbildung 4.4-5: Dehnungsvergleich [mm]/ Kombination Ivory Folie mit allen Rahmen bei 1 N

In den **Post-hoc Analysen** („Mehrfachvergleiche“, Tabelle 4.4-6) zeigen, daß die Werte für den Safe-T Frame sich hochsignifikant von allen anderen unterscheiden. Auch die auffallend niedrigen Werte für den Kofferdamrahmen von Hygenic unterscheiden sich signifikant von denen aller anderen Kombinationen.

Mehrfachvergleiche^a

Abhängige Variable: SPANNUNG

Scheffé

(I) RAHMEN	(J) RAHMEN	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Ivory	Hygenic	4.80*	1.102	.001	1.57	8.03
	Sauveur	-2.25	1.102	.261	-5.48	.98
	Safe-T	-11.55*	1.102	.000	-14.78	-8.32
Hygenic	Ivory	-4.80*	1.102	.001	-8.03	-1.57
	Sauveur	-7.05*	1.102	.000	-10.28	-3.82
	Safe-T	-16.35*	1.102	.000	-19.58	-13.12
Sauveur	Ivory	2.25	1.102	.261	-.98	5.48
	Hygenic	7.05*	1.102	.000	3.82	10.28
	Safe-T	-9.30*	1.102	.000	-12.53	-6.07
Safe-T	Ivory	11.55*	1.102	.000	8.32	14.78
	Hygenic	16.35*	1.102	.000	13.12	19.58
	Sauveur	9.30*	1.102	.000	6.07	12.53

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe .05 signifikant.

a. FOLIE = Heraeus Kulzer

Tabelle 4.4-6: Mehrfachvergleich/Kombination: Ivory Folie mit allen anderen Kofferdamrahmen**4.4.6 Kombination: alle Kofferdamrahmen mit Hygenic Folie/Latex**

Auch in der Kombination der Hygenic-Folie mit den vier untersuchten Rahmen änderte sich das Bild nur wenig: auch hier lagen die Werte für die maximale Dehnung in Kombination mit dem Kofferdamrahmen Safe-T-Frame bei einer Kraft von 1 N deutlich über denen aller anderen Rahmen (Abbildung 4.4-6).

Die anschließenden **Post-hoc Analysen** belegten, daß die Meßwerte des Safe-T-Frame sich von allen anderen Gruppen hochsignifikant unterscheiden (Tabelle 4.4-7).

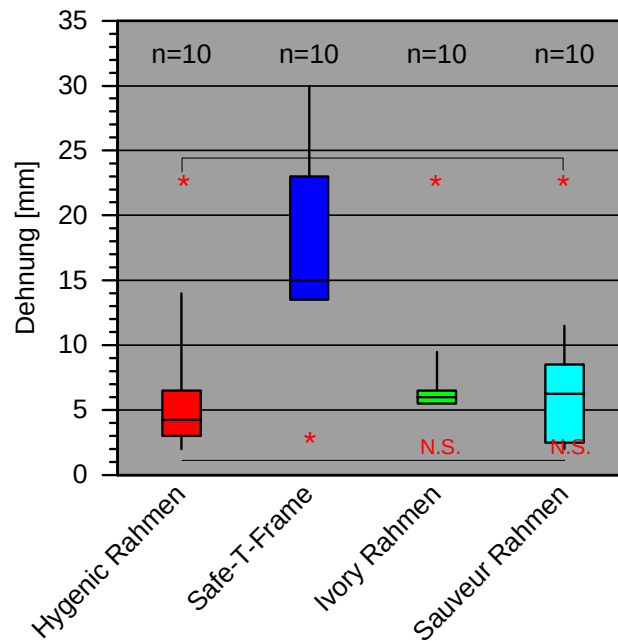


Abbildung 4.4-6: Dehnungsvergleich [mm]/Kombination Hygenic Folie mit allen Rahmen bei 1N

Mehrfachvergleiche^a

Abhängige Variable: SPANNUNG

Scheffé

(I) RAHMEN	(J) RAHMEN	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Ivory	Hygenic	.81	1.843	.978	-4.59	6.21
	Sauveur	.16	1.843	1.000	-5.24	5.56
	Safe-T	-11.84*	1.843	.000	-17.24	-6.44
Hygenic	Ivory	-.81	1.843	.978	-6.21	4.59
	Sauveur	-.65	1.843	.989	-6.05	4.75
	Safe-T	-12.65*	1.843	.000	-18.05	-7.25
Sauveur	Ivory	-.16	1.843	1.000	-5.56	5.24
	Hygenic	.65	1.843	.989	-4.75	6.05
	Safe-T	-12.00*	1.843	.000	-17.40	-6.60
Safe-T	Ivory	11.84*	1.843	.000	6.44	17.24
	Hygenic	12.65*	1.843	.000	7.25	18.05
	Sauveur	12.00*	1.843	.000	6.60	17.40

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe .05 signifikant.

a. FOLIE = Hygenic

Tabelle 4.4-7: Mehrfachvergleich/Kombination: Hygenic Folie mit allen anderen Kofferdarmrahmen

4.4.7 Kombination: alle Kofferdamrahmen mit Roeko Folie/Latex

Auch hier wurden die Versuche mit der Latexfolie des Herstellers Roeko wiederholt. Dabei lagen die Dehnungswerte bei einer einwirkenden Kraft von 1 N für den Kofferdamrahmen Safe-T-Frame erneut deutlich denen aller anderen Rahmen (Abbildung 4.4-7). Die Werte aller anderen Rahmen liegen eng beieinander.

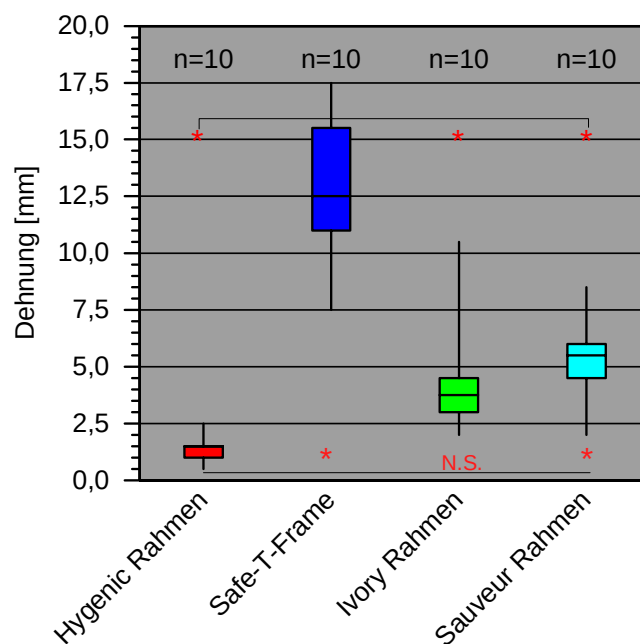


Abbildung 4.4-7: Dehnungsvergleich [mm]/Kombination Roeko Folie mit allen Rahmen bei 1 N

Die **Post-hoc Analysen** (Tabelle „Mehrfachvergleiche“) bewiesen, daß die Werte für die Kombination der Roeko-Latexfolie mit dem der Safe-T-Frame sich von allen Rahmen hochsignifikant unterscheidet. Auch der Rahmen von Hygenic unterschied sich von den beiden Rahmen nach Young (Ivory) und nach Sauveur signifikant (Tabelle 4.4-8).

Mehrfachvergleiche^a

Abhängige Variable: SPANNUNG

Scheffé

(I) RAHMEN	(J) RAHMEN	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Ivory	Hygenic	2.88*	.973	.047	.03	5.73
	Sauveur	-1.05	.973	.762	-3.90	1.80
	Safe-T	-8.50*	.973	.000	-11.35	-5.65
Hygenic	Ivory	-2.88*	.973	.047	-5.73	-.03
	Sauveur	-3.93*	.973	.003	-6.78	-1.08
	Safe-T	-11.38*	.973	.000	-14.23	-8.53
Sauveur	Ivory	1.05	.973	.762	-1.80	3.90
	Hygenic	3.93*	.973	.003	1.08	6.78
	Safe-T	-7.45*	.973	.000	-10.30	-4.60
Safe-T	Ivory	8.50*	.973	.000	5.65	11.35
	Hygenic	11.38*	.973	.000	8.53	14.23
	Sauveur	7.45*	.973	.000	4.60	10.30

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe .05 signifikant.

a. FOLIE = Roeko

Tabelle 4.4-8: Mehrfachvergleich/Kombination: Roeko Folie mit allen anderen Kofferdamrahmen**4.4.8 Kombination: alle Kofferdamrahmen mit Iso Dam Folie/ Latex**

Abschließend wurde auch in diesem Fall eine latexfreie Folie untersucht. Dabei wurde erneut die gleiche Folie wie im Kapitel 4.3 eingesetzt (Isodam), weil deren Werte in den früheren Untersuchungen als einzige die Vorgaben der ADA für Latexfolien erfüllte. Erneut zeigt sich, daß die Dehnungswerte für die Kombination mit dem Kofferdamrahmen Safe-T-Frame bei einer Kraft von 1 N am höchsten waren (Abbildung 4.4-8). Der Rahmen von Hygenic wies erneut die niedrigsten Werte auf.

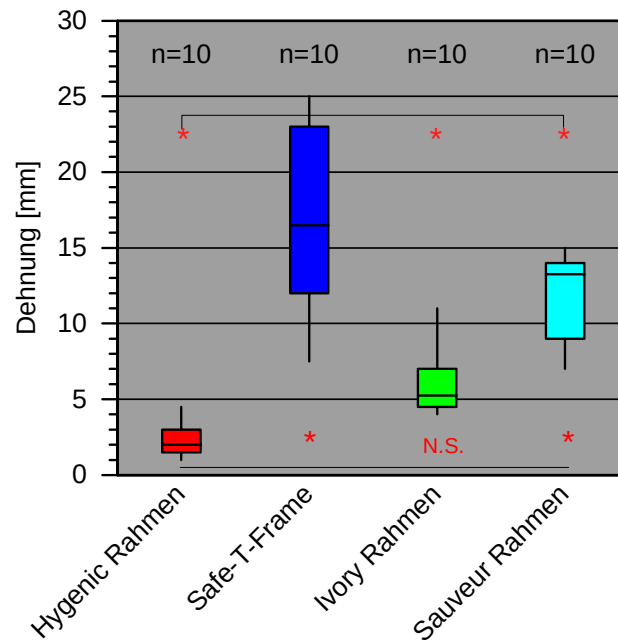


Abbildung 4.4-8: Dehnungsvergleich [mm]/Kombination Iso dam Folie mit allen Rahmen bei 1 N

Die **Post-hoc Analysen** belegten, daß die Dehnungsmeßwerte des Safe-T-Frame sich von denen aller anderen Rahmen hochsignifikant unterscheiden. Am unteren Ende der Meßwerte unterschied sich der Kofferdamrahmen Hygenic Master 6 von allen Kunststoffrahmen; nur beim Vergleich mit dem historischen Rahmen nach Young traten bei dieser Gruppengröße keine Unterschiede auf (Tabelle 4.4-9).

Mehrfachvergleiche^a

Abhängige Variable: SPANNUNG

Scheffé

(I) RAHMEN	(J) RAHMEN	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Ivory	Hygenic	3.60	1.590	.183	-1.06	8.26
	Sauveur	-5.95*	1.590	.007	-10.61	-1.29
	Safe-T	-10.90*	1.590	.000	-15.56	-6.24
Hygenic	Ivory	-3.60	1.590	.183	-8.26	1.06
	Sauveur	-9.55*	1.590	.000	-14.21	-4.89
	Safe-T	-14.50*	1.590	.000	-19.16	-9.84
Sauveur	Ivory	5.95*	1.590	.007	1.29	10.61
	Hygenic	9.55*	1.590	.000	4.89	14.21
	Safe-T	-4.95*	1.590	.034	-9.61	-.29
Safe-T	Ivory	10.90*	1.590	.000	6.24	15.56
	Hygenic	14.50*	1.590	.000	9.84	19.16
	Sauveur	4.95*	1.590	.034	.29	9.61

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe .05 signifikant.

a. FOLIE = Sigma Dental

Tabelle 4.4-9: Mehrfachvergleich der Kombination der Isodam-Non-Latex-Folie mit allen Kofferdamrahmen

Zusammenfassung: Im Ergebnis bestätigten die Versuche unter Einsatz des Phantomkopfes als Dummy das zuvor gewonnene Bild. Demnach treten bei der Kombination des Kofferdamrahmens Safe-T-Frame mit allen untersuchten latex- und non-latex-Kofferdamfolien die signifikant höchsten Dehnungswerte auf. Das andere Ende der Meßwerte markiert der Kofferdamrahmen von Hygenic, dessen Dehnungswerte nie signifikant *unterboten* wurden.

Eine Bewertung dieser Ergebnisse bleibt der nachfolgenden Diskussion vorbehalten.

5 Diskussion

Für die Bewertung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bietet sich an der Gliederung der praktischen Versuche und ihrer Ergebnisse zu folgen.

5.1 In vitro Versuche zur Charakterisierung von Reißfestigkeit und Bruchfestigkeit

5.1.1 Proben/Maßhaltigkeit: Klassifikation nach Winkler

Eine der ersten im Rahmen der Versuchsdurchführung zu klärenden Fragen war es, inwieweit die Hersteller die von der neu entworfenen ADA-Klassifikation vorgegebenen Materialstärken beziehungsweise Folienstärken überhaupt einhalten. In diesem Zusammenhang dient auch die Klassifikation Winklers zur Orientierung, die inhaltlich in dieser Frage mit der ADA-Normvorlage übereinstimmt (ADA 1997a, 1997b; Winkler 1991). Zu unterscheiden ist dabei in Abhängigkeit von der Geometrie der Probekörper zwischen:

- Normstabproben
- Winkelproben.

Normstabproben

Von den untersuchten Kofferdamfolien der Stärke „**dünn**“ der einzelnen Hersteller entsprachen nur die Teststreifen der Hersteller Ivory und KKD den Vorgaben der Klassifikation. Die Proben aus den Folienmaterialien aller anderen Hersteller waren dicker als in der Klassifikation beziehungsweise dem ADA-Normvorschlag verlangt.

Bei den als „**mittel**“ beschriebenen Folien ist im Vergleich dazu die Einhaltung der Folienstärke vergleichsweise besser. Lediglich die *Latexfolien* des Herstellers KKD wichen von der vorgegebenen Folienstärke ab. Bei den *Non-Latex Materialien* hingegen ist die Einhaltung der dicken Vorgaben eher die Ausnahme.

Lediglich die Folien „Isodam“ des Herstellers Sigma Dental halten in der Materialstärke „mittel“ die vorgegebene Stärke ein; die Non-Latex Materialien der Hersteller Hygenic sowie Roeko (Roeko/Silikon/non latex) entsprachen der Klassifikationsvorgabe nicht, sondern lagen von der Stärke her in der Größenordnung jener Werte, die von den Herstellern als „stark“ bezeichnet werden müßten.

Winkelproben

Bei den Materialien dieser Prüfkörper handelt es sich grundsätzlich um das gleiche Material wie bei den Prüfkörpern, die zu Winkelproben verarbeitet wurden. Vor diesem Hintergrund ist eine gesonderte Betrachtung der Materialstärken für die Winkelproben im Grunde genommen nicht erforderlich.

Zusammenfassung

Insgesamt ergibt sich aus den Ergebnissen dieser Messungen, daß die Einhaltung der auf den Packungen angegebenen Materialstärken bei den traditionellen latexbasierenden Materialien vergleichsweise gut ist, während bei den neuen, für Allergiker gedachten latexfreien Materialien die Einhaltung der Vorgaben lediglich bei einem Produkt gelang. Für die zahnärztlichen Anwender bedeutet dieses, daß sie damit rechnen müssen, speziell bei latexfreien Materialien andere Stärken und somit andere Elastizitätseigenschaften zu erhalten, als sie nach dem Packungsaufdruck erwarten könnten. Die Hersteller sollten dieses zum Anlaß nehmen, ihre entsprechenden Etikettierungen oder die Materialstärken in den Packungen zu korrigieren.

5.1.2 Bewertung der Messergebnisse

Nicht ohne Grund haben die Autoren des Normvorschlages der ADA zur Untersuchung und Bewertung der verschiedenen Folienmaterialien zwei verschiedene Arten von Proben zur Messung vorgesehen.

- Die **Normstäbe** sollten dabei im Dehnungsversuch Aufschluß über die jeweiligen Bruchkräfte zeigen, bei denen es zum Reißen der Folien infolge ihrer Überdehnung kommt (ADA-Normvorschlag).

- Im Gegensatz dazu sollten die **Winkelproben** Aufschluß über die Reißfestigkeit der Folien geben, was insbesondere bei kleinsten Beschädigungen von Interesse ist (ADA-Normvorschlag).

Die Ergebnisse beider Versuche sollten daher zunächst getrennt betrachtet und bewertet werden.

Andererseits ist eine Bewertung auch nach den Charakteristiken der verschiedenen Materialien möglich, wobei zwischen **Latex-** und **Non-Latex-**Materialien unterschieden wird, zusätzlich nach der **Folienstärke** und schließlich nach dem **Alter** der untersuchten Proben.

Da dieses die bestimmenden Parameter sind, die in der klinischen Anwendung schließlich am meisten interessieren, sollen die zahlreichen Versuchsergebnisse unter diesem Aspekt geordnet und betrachtet werden.

Folien-Probekörper und deren Auswirkungen auf die Meßwerte

Nachdem im letzten Abschnitt gezeigt wurde, daß die Herstellerangaben zur Stärke der jeweiligen Folien nicht im wünschenswerten Maße mit den Vorgaben der Klassifikation nach Winkler beziehungsweise des ADA-Normvorschlages korrelieren, stellt sich die Frage nach der *Auswirkung* dieser Erkenntnis. Dies ist insofern von Bedeutung, da in den nachfolgenden zu besprechenden Versuchen ausdrücklich Bezug genommen wird auf die Stärke der gemessenen Folien. Würde man sich quasi „blind“ an den Herstellerangaben orientieren und die Meßwerte auf die vermeintliche Stärke der Folie beziehen, wären fehlerhafte Meßwerte, beziehungsweise deren Interpretationen unausweichlich.

In der Vorwegnahme dieses Effektes sieht der Normvorschlag daher ausdrücklich die *Berechnung der Querschnittsfläche für jede einzelne Probe* vor, um sicherzustellen, daß die Meßwerte sich auf die tatsächliche Querschnittsfläche des Probekörpers und nicht auf die vermeintliche Stärke des Materials beziehen. Eine Verfälschung der Ergebnisse durch die fehlerhafte Angabe der Materialstärke seitens des Herstellers ist somit ausgeschlossen.

Es stellt sich allerdings die Frage, warum die in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Bruchfestigkeitswerte der latex-basierenden Kofferdamfolien aller Stärken mit (6,46 bis 24,82 MPa) recht deutlich *unter* den Meßwerten in der von SVEC 1996 vorgestellten Studie lagen (A. Svec 1996): Die Werte von SVEC et al. lagen damals allesamt *oberhalb* von 27 MPa, was die Frage aufwirft, woher dieser Unterschied rührt. Bei Betrachtung der Versuchsbedingungen zeigt sich jedoch, daß Svec die Probekörper aus einteiligem, in der Mitte nicht perforiertem Material herstellte. Im Gegensatz dazu war bei den in dieser Studie untersuchten Probekörpern entsprechend dem aktuellen Normvorschlag in der geometrischen Mitte der Probekörper, ein gestanztes Loch definierter Größe angebracht, und zwar mit dem Ziel, die durchschnittliche Elongation der Probekörper im Rahmen der Messung zu verringern. Der Hintergrund dieser Maßnahme war, daß in den meisten Labors heutzutage Universalprüfmaschinen im kleineren Maßstab Verwendung finden, deren maximale Auslenkung begrenzt ist. Sofern nicht eine erhebliche Neuinvestition in den prüfenden Labors notwendig werden soll, war es daher unabdingbar, Vorkehrungen dafür zu treffen, die maximale Elongation während der Prüfversuche zu reduzieren. Aus diesem Grund würde in die Prüfvorschrift ein spezieller Faktor aufgenommen, der genau zur Reduktion der Maximalelongation und der dabei gemessenen Bruchfestigkeiten führt.

Insofern ist die Unterscheidung der Meßwerte von den seiner Zeit durch SVEC ET AL. gemessenem nicht weiter verwunderlich, sondern als Bestätigung aufzufassen. Offensichtlich erreicht die zusätzliche Perforation genau das angestrebte Ziel, die Meßwerte in einheitlicher und vergleichbarer Form zu reduzieren.

Folienstärken und ihr Einfluß auf die gemessenen Meßwerte

Beim Vergleich der Bruchfestigkeiten der Latex-Folien verschiedener Hersteller vermeintlich einheitlicher Materialstärke zeigt sich, daß bei einem der Produkte (Hygenic/Latex/dünn) die Standardabweichung wesentlich geringer ist als bei den anderen Produkten. Dieses Ergebnis verwundert, läßt aber auf vergleichsweise einheitliche Materialeigenschaften innerhalb eines Teststreifens (aus dem wiederum die einzelnen Probekörper gewonnen wurden) schließen. Die Meßwerte der Mitbewerber-

produkte liegen zwar durchweg darüber, weisen aber deutlich größere Varianten in den Meßwerten auf, wodurch sie sich insgesamt nicht signifikant vom Vergleichswert der Hygenic-Produkte unterscheiden.

Bei der Materialstärke „mittel“ fällt im Vergleich aller Latex-Folien Materialien auf, daß lediglich *ein* Produkt sich signifikant ($p < 0,05$) von allen anderen Produkten unterscheidet. Hierbei handelt es sich um das Produkt Ivory Premium Dam (Gruppe Ivory/Latex/mittel). Die Ursache für diesen „Ausreißer“ bleibt zunächst unerklärlich. Die Meßmethoden wurden wegen des Verdachts auf eine eventuelle schadhafte Probserie oder einer aus Versehen qualitativ mangelhaften Packung speziell für dieses Produkt wiederholt, mit gleichem Ergebnis. Eine daraufhin an den Hersteller gerichtete Anfrage blieb unbeantwortet (vergleiche Abb. 4.1-26).

Bei den Kofferdame-Materialien der Stärke „stark“ (englisch: „heavy“) ist die Situation weniger stark differenziert. Die vergleichsweise schlechte Elastizität des Produktes Ivory/Latex/Premium wiederholte sich hierbei nicht, im Gegenteil, die Meßwerte liegen vergleichsweise homogen beieinander und gleichzeitig höher als bei allen Konkurrenzprodukten. Um so erstaunlicher wirkt im Vergleich hierzu der Ausreißer bei den Folien der Stärke „mittel“ des gleichen Herstellers und Folienmaterials. Die anderen Folienmaterialien wiesen überwiegend vergleichsweise einheitliche Standardabweichungen auf und zeigten Mittelwerte im Bereich zwischen 15 und 25 MPa. Die Mittelwerte liegen damit tendenziell leicht oberhalb derer für die vorliegende Stärke „mittel“ („medium“). Dieses überrascht nicht und bestätigt die Erwartung, daß theoretisch eine größere elastische Kraft auf das System auf Kofferdamklammer, Kofferdamfolie und Kofferdamrahmen einwirkt, sofern mit dickeren Folien gearbeitet wird (Ahlers 1998, 1999). Im Hinblick auf die klinischen Konsequenzen wird hierauf in Kapitel 5.2. eingegangen.

Beim Ergebnis des Weiterreißversuches ging es um die Frage, inwieweit dieselben Materialien bei Anspannung und Dehnung über leicht scharfkantige Elemente, beispielsweise Füllungsänder beziehungsweise im Kontakt mit Kofferdamklammern, zum Reißen unter der klinischen Anwendung neigen. Auch die hierfür eigens hergestellten Winkelproben wurden in für die Folien verschiedener Materialstärken und

verschiedener Materialien angefertigt. Unterschieden nach den Materialstärken, ergab sich dabei folgendes Bild:

Bei den Latexfolien der Stärke „dünn“ lagen die Meßwerte für die vier untersuchten Materialien in drei Fällen auf einheitlichem Niveau; oberhalb dieses Niveaus lagen die Reißfestigkeitswerte für das Material Ivory/Latex/dünn.

Im Vergleich dazu waren die Streubreiten der Meßwerte für die Materialstärke „mittel“ („medium“) deutlich größer. Die größte Streubreite kam hier dem Material Ivory/Latex/medium zu, welches bereits beim reinen Zugversuch auffallend schlecht abgeschnitten hatte. Im Vergleich dazu waren die Streubreiten der Vergleichsprodukte teils etwas überwiegend jedoch deutlich kleiner, insbesondere beim Produkt KKD-Kofferdam/Latex/medium. Für das in der vorherigen Prüfung „durchgefallene“ Produkt Ivory/Latex/medium deutet dieses darauf hin, daß zum einen die Reißfestigkeit schlecht vorhersagbar ist, insbesondere jedoch die Bruchdehnung darauf hinweist, daß die elastischen Kräfte innerhalb des Materials vergleichsweise schlecht entwickelt sind.

Auch bei der Untersuchung dieses Folienmaterials (Ivory Premium Dam) in der Stärke „stark“ („heavy“) fällt aus dem Bereich der übrigen Vergleichsprodukte deutlich heraus. In diesem Fall lagen die Meßwerte allerdings weit oberhalb der Werte aller Vergleichsprodukte, erneut mit einer sehr großen Streubreite. Da auch die Werte in der Bruchfestigkeitsprüfung für genau dieses Produkt vergleichsweise höher lagen als die aller Mitbewerberprodukte, deutet dies darauf hin, daß bei den starken Latexfolien das Ivory-Produkt deutlich höhere elastische Kräfte aufweist als alle Mitbewerberprodukte, während bei den mittelstarken Folien sich dieses Verhältnis umkehrt.

Beim Vergleich der verschiedenen Non-Latex Materialien wirkt einschränkend, daß die Anzahl dieser Produkte bislang im Vergleich zu den Latexfolien deutlich geringer ist. Da für die klinisch anwendenden Zahnärzte insbesondere die Materialeigenschaften der latexfreien Folien im Vergleich zu den traditionellen Latexprodukten von Interesse sind, bietet sich ein Vergleich unter diesem Aspekt an. (Der Vergleich

beschränkt sich dabei auf Folien der Stärke „mittel“ („medium“), da nur in dieser Stärke ausreichend Vergleichsprodukte verschiedener Hersteller verfügbar sind.) Dabei zeigten sich für die Folien des Herstellers Hygenic signifikant *niedrigere* Bruchdehnungswerte für das Non-Latex Material als für das Latexmaterial gleicher Stärke. Bei dem vom Hersteller Sigma Dental Systems vertriebenen Produkt „Isodam“ hingegen waren die Werte hingegen höher und lagen etwa auf der Größenordnung des Latexproduktes von Hygenic. Ein Vergleich mit dem ebenfalls von Sigma Dental vertriebenen „Ivory Premium Dam“ (latexhaltig) gleicher Stärke erscheint wenig aussagekräftig, da es sich bei speziell diesem Produkt um das bereits im vorigen Abschnitt besprochene handelt, was in sämtlichen Prüfungen deutlich unter allen Vergleichsprodukten lag.

Weitere Non-Latex Produkte werden seit einiger Zeit mit erheblichen Werbeaufwand vom Hersteller Roeko in den Markt gedrängt. Dabei handelt es sich zum einen um ein älteres, lediglich als „Non-Latex“ bezeichnetes Material der Stärke medium. Das neuere „Flexi-Dam“ bezeichnete Non-Latex Produkt hingegen wird mit keiner eindeutigen dicken Angabe versehen, fällt jedoch von der Materialstärke deutlich über aus dem üblichen Rahmen heraus. Bei der durchaus vergleichbaren Elastizität beider Materialien liegt jedoch weit unter denen der Meßwerte vergleichbarer Hersteller. Zu berücksichtigen ist allerdings im Fall der Folien Roeko Flexi-Dam, daß die maximale Elongation der Folien ausgesprochen große Beträge aufweist. Berücksichtigt man allerdings die ebenfalls übermäßige *Stärke der Folien*, so ergibt sich bei der vorgegebenen Rechenformel eine rechnerisch vergleichsweise geringe Elastizität [MPa]. Diese liegt etwa auf der gleichen Größenordnung wie die des älteren Roeko Non-Latex Produktes. Beide Meßwerte unterschreiten dabei deutlich die des vorher als „Ausreißer“ bezeichneten Ivory Premium Dam medium (Abb. 4.1-29).

Im Weiterreißversuch liegen die Meßwerte für die Non-Latex-Produkte der Hersteller Hygenic, Sigma Dental (Isodam), sowie der beiden Roeko-Produkte jeweils ganz erheblich unterhalb der Vergleichswerte der Latex-Folien. Die Unterschiede sind in dem Fall hochsignifikant ($p < 0,05$).

Zusammenfassend ergibt sich aus diesen Untersuchungen, die in dieser Breite die ersten publizierten Daten überhaupt sind, das folgende Bild:

Trotz erheblichen Aufwandes ist es bisher offensichtlich nicht gelungen, latexfreie Folien zu entwickeln, die die gleichen elastischen Eigenschaften wie latexbasierende Folien aufweisen.

- Mit dem Ziel, eine möglichst gute elastische Dehnung latexfreier Folien zu entwickeln, war daher im Falle des Herstellers Roeko beim Produkt „Flexi-Dam“ offensichtlich die Notwendigkeit verbunden, die Folienstärke ganz erheblich zu erhöhen.
- Die Einführung des neuen „Isodam“ des Herstellers Sigma Dental Systems wiederum belegt, daß es offensichtlich dennoch möglich ist, latexfreie Folien mit Dehnungseigenschaften zu entwickeln, die den in vergleichbarer Latexprodukte (in diesem Fall des Herstellers Hygenic) entsprechen.

Auch innerhalb der Gruppe der traditionellen latex-basierenden Produkte ist das Bild so uneinheitlich, daß Zahnärzte als „Verbraucher“ der Folien allein aufgrund der Angaben auf den Packungen nicht auf das elastische Verhalten der Folien schließen können:

- So lagen die Meßwerte für die „Premium Dam“-Folien des Herstellers Ivory in der Materialstärke „medium“ in den verschiedenen Untersuchungsarten *unter* denen aller Mitbewerberprodukte.
- Im Gegensatz dazu waren die Folien des gleichen Herstellers in der Stärke „heavy“ den Vergleichsprodukten der anderen Hersteller jeweils *überlegen*.

Worin dieser Unterschied begründet ist, konnte der Hersteller nicht erläutern; ein Meßfehler wurde durch die gezielte Wiederholung der Untersuchung speziell in dieser Gruppe ausgeschlossen.

Einfluß des Folienalters auf die Meßwerte

Die elastischen Eigenschaften von Kofferdamfolien aus Latexmaterialien müßten sich vermutlich mit zunehmender Lagedauer negativ verändern. Vor diesem Hintergrund geben die Hersteller für ihre verschiedenen Produkte eine jeweils begrenzte Lagerungsdauer, in der Regel 6 Monate, an. Durch die frühzeitige Einlagerung von Prüfkörpern vor über 10 Jahren unter Normbedingungen (Standard Raumklima, durchschnittliche Temperatur 21° Celsius) entstand nun die seltene Möglichkeit, die elastischen Eigenschaften der fabrikneuen Folien mit denen über 10 Jahre alter Vergleichsprodukte desselben Fabrikates (Hygenic/Latex/mittel) zu vergleichen. Ein ähnlicher Vergleich anderer Fabrikate oder *latexfreier* Folien war nicht möglich, da latexfreie Materialien noch gar nicht in seit derartig langer Zeit angeboten werden; andere latexbasierende Materialien standen nicht zur Verfügung.

Das Ergebnis in der Bruchfestigkeitsprüfung zeigt, daß die Bruchfestigkeit der Normstäbe aus 11 beziehungsweise 12 Jahre altem Folienmaterial sich signifikant von den Werten für aktuelle Latexfolien des gleichen Herstellers unterschied. Im Vergleich zwischen 11 und 12 Jahre altem Material fällt überraschenderweise auf, daß die Werte für das 12 Jahre alte Material sich signifikant von denen des 11 Jahre alten Materials unterscheiden, wobei die „jüngeren“ Folien niedrigere (!) Meßwerte als die noch ein Jahr älteren aufweisen. Eine Erklärung für dieses erstaunliche Verhalten, was im Gegensatz zu dem erwarteten Ergebnis liegt, fällt schwer.

Bei der Überprüfung der Ergebnisse im Weiterreißversuch mittels Winkelproben aus den gleichen Materialien der gleichen Altersstufen zeigte sich, daß auch hier die 11 und 12 Jahre alten Folien signifikant niedrigere Werte als fabrikneues Material erreichten. Erstaunlicherweise war jedoch auch hier die Reißfestigkeit des ca. 12 Jahre alten Materials größer als die 1 Jahr jüngeren Vergleichsmuster (Abb. 4.2-27).

Die zusätzlich zum besseren Verständnis der Bruchfestigkeitsuntersuchung sowie der Weiterreißversuche durchgeführten mikroskopischen Untersuchungen sollen an dieser Stelle nicht unkommentiert bleiben. Das Ziel dieser Untersuchung bestand darin, durch mikroskopische Vergrößerung der Proben im Auflichtmikroskop nach

möglichen Ursachen für das teilweise relativ plötzliche Reißen der Kofferdamfolien zu suchen. Interessanterweise stellte sich dabei heraus, daß die mit bloßem Auge vergleichsweise *homogen* wirkenden Folien bei mikroskopischer Betrachtung erstaunlich *inhomogen* sind, wobei sich die verschiedenen Folienmaterialien deutlich stärker unterscheiden, als es mit bloßem Auge zu vermuten wäre. Auffällig dabei ist insbesondere die Struktur verschiedener Latexfolien, die teilweise an die Oberflächenstruktur von Kieselsteinen beziehungsweise das Bild von zellulären Strukturen erinnert, allerdings mit deutlichen Unterschieden von Hersteller zu Hersteller (Abbildung 5.1-1 bis Abbildung 5.1-5).

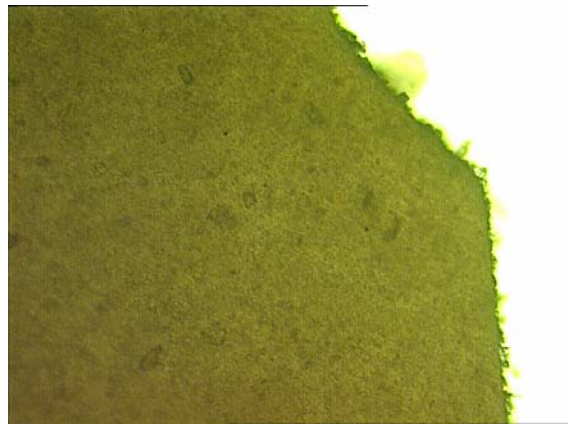


Abbildung 5.1-1: Hygenic/dünn/Latex

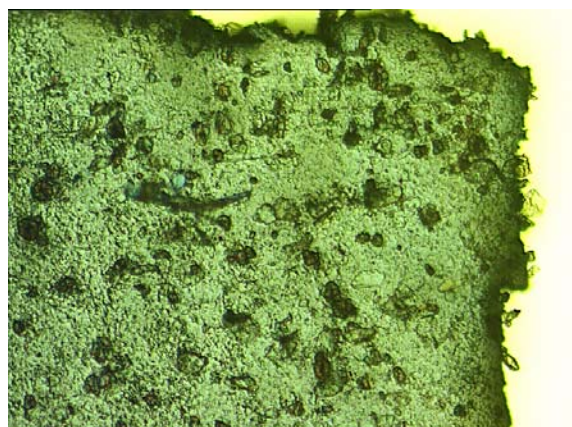


Abbildung 5.1-2: Ivory/stark/Latex

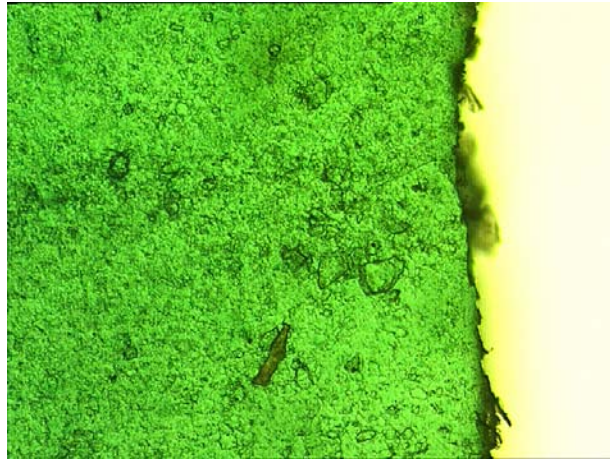


Abbildung 5.1-3: Roeko /stark/Latex

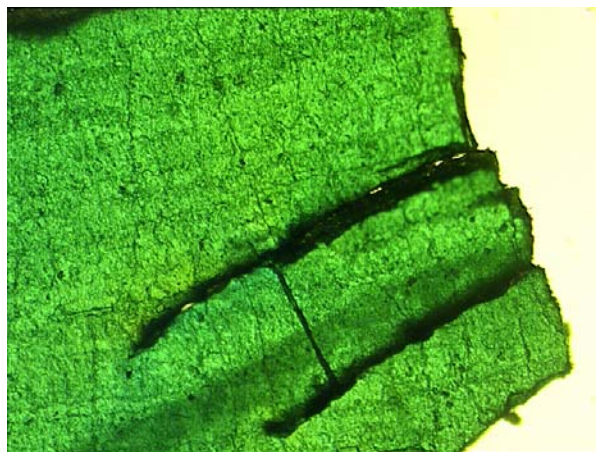


Abbildung 5.1-4: KKD Fit Kofferdam /mittel/Latex.



Abbildung 5.1-5: KKD Fit Kofferdam /stark/Latex

Unter den Non-Latex Folien gleicht lediglich das Material „Isodam“ vom Aufbau her den Latexfolien. Von daher ist es nicht verwunderlich, dass die Meßwerte des latex-freien Isodam denen von Latexprodukten mehr oder weniger gleichen.

Im Gegensatz dazu sind die Non-Latex Folien des Herstellers Hygenic sowie die beiden Roeko-Folien in ihrer Textur völlig anders aufgebaut. Dabei überwiegen bei der Non-Latex Folie von Hygenic sowie bei der Non-Latex Folie „Roeko Non-Latex (Silicone)“ faserartige Strukturen, die einen Hinweis geben, wie sich die niedrigen Reißfestigkeiten erklären.

Im Gegensatz dazu ist die Oberfläche des Roeko Flexi-Dam eher der Textur einer durch Wassereinlagerung geschwellenen menschlichen Haut nachgebildet, in ihrer Oberfläche dabei aber extrem unregelmäßig und vor allem unregelmäßig dick, mit porenartigen Strukturen. Diese Struktur macht auch verständlich, warum die Gesamtstärke der Folie Roeko Flexi-Dam deutlich oberhalb der Stärke anderer Folien liegen muß, ohne daß dabei die Elastizität, gemessen nach Meßvorschrift, sich von den Non-Latex-Vergleichsprodukten aus dem gleichen Hause sowie von Hygenic unterscheidet (Abbildung 5.1-6 bis Abbildung 5.1-9).



Abbildung 5.1-6: Iso Dam /mittel/Non Latex

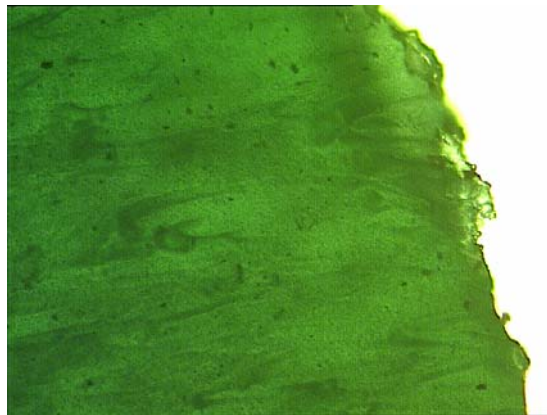


Abbildung 5.1-7: Hygenic /mittel/Non Latex

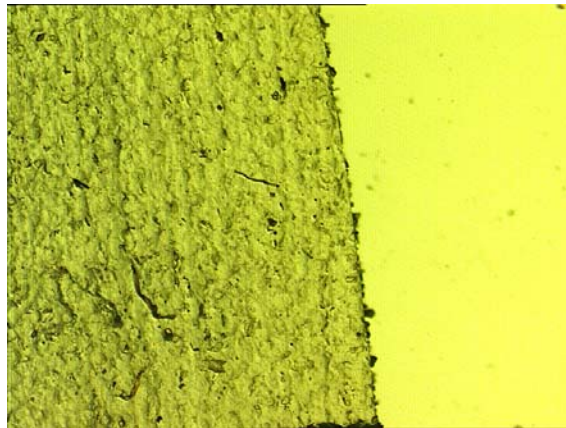


Abbildung 5.1-8: Roeko Siliconi /mittel/Non Latex

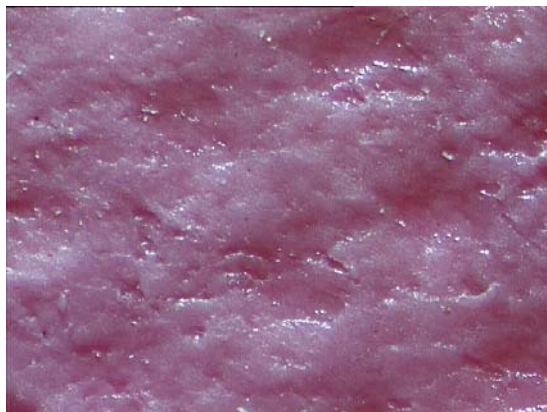


Abbildung 5.1-9: Roeko/Flexi-Dam/Non Latex

Zusammenfassend lassen sich die Aussagen dieser Versuche wie folgt umreißen:

- Latexbasierende Kofferdamfolien erwiesen sich im Materialvergleich als signifikant reißfester als vergleichbare latexfreie Kofferdamfolien derselben Hersteller.
- Im Hinblick auf die Elastizität erreichte nur *eine* latexfreie Kofferdamfolie die Vergleichswerte latexbasierender Kofferdamfolien.

Die elastischen *Eigenschaften latexbasierender Kofferdamfolien* unterschiedlicher Stärke unterschiedlicher Hersteller, differierten sowohl im Hinblick auf Bruchfestigkeit als auch auf die Reißfestigkeit. Dabei waren die Werte der Mehrzahl der Latexfolien vergleichsweise homogen, mit lediglich einzelnen Ausreißern nach unten beziehungsweise nach oben. Mit Ausnahme eines einzigen Latexproduktes können dabei alle Latexfolien als ausreichend elastisch angesehen werden. Die Folien sollten allerdings fabrikneu beziehungsweise im Rahmen des von den Herstellern garantierten Gebrauchszeitraums eingesetzt werden.

- Ältere Latexfolien gleicher Fabrikate weisen nach 10-jähriger Lagerdauer ganz erheblich niedrigere Elastizitätswerte auf als fabrikneues Material (A. Svec 1996; Vanderbilt Co. 1987).

Derartige Ergebnisse liegen allerdings bisher nur für latexbasierende Materialien vor, da latexfreie Produkte noch nicht ausreichend lange auf dem Markt sind.

5.2 In vivo Simulation zur Messung der Zugkraft in Abhängigkeit des Folienmaterials und der Gestaltung des Folienhalters

Die in dem vorherigen Kapitel beschriebenen und diskutierten Messungen der Bruchfestigkeit sowie der Weiterreißfestigkeit dienten allesamt dem Ziel, die **Eigenschaften handelsüblicher Kofferdamfolien** aus Latex- und Non-Latex Materialien genauer zu charakterisieren. In der klinischen Anwendung werden diese Folien jedoch nicht isoliert eingesetzt, sondern nach Befestigung auf einen Kofferdamrahmen beziehungsweise Folienhalter mit den zu isolierenden Zähnen verbunden. Insofern

ist es für die Bewertung der klinischen Situation vergleichsweise wichtiger zu erfahren, wie die **Elastizität der Kofferdamfolien nach Verbindung mit dem Folienhalter** ausfällt. Das Ergebnis wird durch die Elastizität der Kofferdamfolien einerseits und die Geometrie sowie die Art der Befestigung auf dem Kofferdamrahmen andererseits beeinflusst. Aus diesem Grund wurden in der nachfolgenden Untersuchungsreihe vier verschiedene Kofferdamfolien unterschiedlichen Materials identischer Stärke auf vier verschiedenen Kofferdamrahmen unterschiedlicher Symmetrie mit unterschiedlichen Befestigungskonzepten nach Herstellervorgabe adaptiert (Ahlers 2001; Kahn 1980; McConville 1968; G. Sauveur 1997; M.-J. G. Sauveur 1999; Shanel 1986).

Als **Vorversuch** wurde zunächst ermittelt, mit welcher durchschnittlichen Elongation unter klinischen Bedingungen in vivo zu rechnen ist. Dabei wurde von der klinischen Situation ausgegangen, daß an einem ersten unteren Molaren eine endodontische Behandlung durchzuführen sei — unter Kofferdam. Dieses realistische Szenario wurde unter folgender Überlegung ausgewählt: Die elastische Spannung, die auf die Kofferdamfolie einwirkt, steigt um so mehr, je weiter distal der betreffende Zahn liegt, da hierfür die auf dem Kofferdamrahmen befestigte Folie bis zum behandelten Zahn weiter gedehnt werden muß. Vor dem Hintergrund, daß endständige Molaren (insbesondere Weisheitszähne) vergleichsweise seltener endodontisch behandelt werden, als die Zähne im Bereich des Kauzentrums, wurde als realistischer „Normalfall“ ein *erster unterer Molar* gewählt. Dies schließt die Überlegung ein, daß die entsprechenden Werte für Frontzähne vergleichsweise geringer ausfallen könnten. Hier ist aber auch der Sicherheitsvorteil der absoluten Trockenlegung und Isolation unter Kofferdam geringer. Als durchschnittliche Distanz zwischen der Ebene des Kofferdamrahmens einerseits und der Mitte des untersuchten beziehungsweise behandelten ersten Molaren andererseits wurde eine Distanz von 37 mm ermittelt.

Daraufhin wurde anschließend im Versuch die elastische Kraft gemessen, die auf die jeweilige Kofferdamfolie einwirkte, wenn der mittels einer metallenen Kofferdamklammer isolierte Zahn 37 mm hinter der Ebene des Kofferdamrahmens lag. De facto wurde hiermit die klinische Situation zunächst in vitro möglichst realistisch

nachgebildet. Dem Zugrunde lag die praktische Erfahrung des Betreuers dieser Dissertation aus vielen Fortbildungskursen, daß viele zahnärztliche Anwender der Kofferdamtechnik insbesondere den *plötzlichen Verlust der Retentionen* im Bereich der Kofferdamklammer fürchten, infolge dessen sonst die Kofferdamfolie mitsamt der sie haltenden Kofferdamklammer vom isolierten Zahn löst. Da dies in der klinischen Behandlung als ausgesprochen unprofessionell wirkend und bedrohlich wahrgenommen wird, wirkt diese Situation sich entsprechend negativ für das objektive Behandlungsergebnis wie auch für das subjektive Vertrauen von Patient und Behandler in die Isolationstechnik aus.

Bei den daraufhin durchgeführten Untersuchungen zeigten sich für die vier untersuchten *Kofferdamfolien* grundsätzlich vergleichbare Werteverteilungen in Bezug auf die vier untersuchten *Kofferdamrahmen*, allerdings mit zahlenmäßigen Unterschieden. Dabei erreichte die Latexfolie des Herstellers Ivory (medium) in Kombination mit dem Kofferdamrahmen nach YOUNG aus dem gleichen Hause vergleichsweise geringere elastische Kräfte als die Folien anderer Hersteller. Dies war allerdings vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus den Bruchfestigkeits- und Weiterreißversuchen nicht wirklich verwunderlich. Erstaunlicherweise waren die Werte im Kraft-Weg-Diagramm für die gleiche Folie jedoch den Vergleichswerten anderer Kofferdamfolien überlegen. Diese läßt sich dahingehend interpretieren, daß die mehrfach angesprochene Ivory-Folie bei geringen Kräften außergewöhnlich gute elastische Dehnungswerte aufweist, die anfangs nur bis zu einem bestimmten Bereich reichen und anschließend zum vergleichsweise abrupten Bruch beziehungsweise Riß der Probekörper führen.

Das wesentlich interessantere und aussagekräftigere Resultat ist die einheitliche Verteilung aller Meßwerte zwischen diesen verschiedenen *Folienmaterialien* mit starker Unterscheidung in Abhängigkeit vom jeweils eingesetzten *Kofferdamrahmen*. Dabei sind die auf den isolierten Zahn einwirkenden elastischen Kräfte bei Befestigung der Folie auf dem Safe-T-Frame hochsignifikant ($p < 0,05$) niedriger als die bei allen anderen Rahmen. Im Kraft-Weg-Diagramm bedeutet dieses umgekehrt, daß bei einer Kraft von 1 N, die über die gespannte Folie auf den isolierten Zahn und des die zu

Isolierung dienende Kofferdamklammer einwirkt, eine entsprechend viel größere Dehnung erreicht werden kann. Umgekehrt formuliert bedeutet dies, daß bei der zunehmenden Dehnung [mm] die Kräfte, die auf die Kofferdamklammer einwirken, deutlich niedriger sind. Dieses gilt unabhängig von der eingesetzten Kofferdamfolie für alle vier untersuchten Folien aus Latex und Non-Latex Material.

Die Ursache für dieses Ergebnis könnte darin liegen, daß die Geometrie des Safe-T-Frame anders als herkömmliche Kofferdamrahmen vorsieht, die Folie selbst nicht aktiv über den Rahmen zu spannen, sondern daß in diesem Fall die Folie mit dem Rahmen durch einen Klemmemechanismus quasi passiv verbunden wird. Während bei herkömmlichen Kofferdamrahmen die Folie somit bereits vor der Anwendung noch ohne Kontakt mit dem Patienten gespannt ist, damit die Folie überhaupt am Rahmen hält, wird im Gegensatz dazu beim Safe-T-Frame keine derartige Spannung benötigt. Analog dazu kommt es in jenen Fällen, in denen bereits zur Befestigung der Folie auf dem Kofferdamrahmen eine Vorspannung der Folie nötig war, zu weitaus größeren elastischen Zugkräften, die über die Kofferdamfolie auf die zur Retention dienende Kofferdamklammer wirken (W. Kamann 1996; T. A. Svec, Powers u. Ladd 1997). Im Gegensatz dazu fällt diese Vorspannung beim Safe-T-Frame weg, ergo werden auch die Zugkräfte, die auch die Kofferdamklammer eintreffen, entsprechend geringer. Theoretisch müßte dieses bedeuten, daß das Risiko für den Behandler, daß sich die Kofferdamklammer unerwartet vom isolierten Zahn löst, entsprechend niedriger ausfällt (Ahlers 1998, 1999, 2001).

Bewertung der Zugversuche am Phantomkopf („Dummy“)

Um nun in einer möglichst realistischen Situation zu überprüfen, ob die Ergebnisse aus der in vitro Simulation sich in dieser Form auf die Situation am Patienten übertragen lassen, wurde eine Nachbildung der klinischen Situation mit Hilfe eines Phantomkopfes vorgenommen. Hierzu diente als Phantomkopf ein „Dummy“ des Herstellers KaVo. Der Phantomkopf der Firma KaVo wurde bewußt gewählt, weil beim alternativ einsetzbaren Phantomkopf der Firma Frasaco die anatomische Gestalt speziell der Unterkiefermolaren durch vergleichsweise unnatürlich parallele Außenwände gekennzeichnet ist. Da für die Befestigung von Kofferdamklammern allerdings

der Retentionsbereich *unterhalb* des anatomischen Äquators entscheidend ist (und die Frasacozähne genau jenen Retentionsbereich nur in unnatürlich geringem Maße aufweisen) wurde für die vorliegenden Versuche der vergleichsweise natürlichere Dummy der Firma KaVo verwendet.

Was im Rahmen dieses Systems nicht nachzubilden war, ist die elastische Aufhängung natürlicher Zähne über den desmodontalen Faserapparat innerhalb der Alveolen. Da wir davon ausgehen, daß die Zugkräfte, die über die Kofferdamfolie vermittelt auf eine Kofferdamklammer einwirken, jedoch geringer sind als die Kräfte, die zur Auslenkung der Sharpeyschen Fasern notwendig sind, wurde dieser Aspekt unberücksichtigt gelassen — zumal der Parameter in die Werte aller Versuchsgruppen einheitlich einginge.

Am „Patienten“ wurden nun erneut wie zuvor *in vitro* die Kofferdamfolie zunächst mit dem betreffenden Kofferdamrahmen verbunden und anschließend mit einer passenden Kofferdamklammer auf den ersten rechten unteren Molaren befestigt. Erneut kamen die gleichen vier verschiedenen Folien aus latexhaltigem und latexfreiem Material zur Anwendung, der Vergleichbarkeit halber jeweils in der Stärke „medium“. Die Messung erfolgte analog der zweiten Auswertung der vorherigen Untersuchung, also mit dem Fokus auf die elastische Dehnung der Kofferdamfolie [mm]. Erneut zeigte sich, daß die elastische Dehnung unabhängig vom verwendeten Folienmaterial beim Kofferdamrahmen „Safe-T-Frame“ deutlich größer war als bei allen Vergleichsrahmen. Der Effekt ist auch unter den quasi „klinischen“ Bedingungen für alle untersuchten Folientypen hochsignifikant ($p \leq 0,01$). Im Gegensatz dazu unterschieden sich die anderen Werte nur in Einzelfällen voneinander. Auffällig ist dabei, daß für den Rahmen Hygenic Master 6 die maximale Dehnung vergleichsweise geringer ausfällt als für alle anderen Rahmen. Dieser Unterschied ist bei acht von zwölf Vergleichsbeziehungen signifikant ($p < 0,05$).

6 Zusammenfassung

Die Anwendung von Kofferdam wird in der Zahnmedizin in beinahe 500 Publikationen beschrieben und gefordert. Die überwiegende Mehrzahl der Publikationen weist allerdings daraufhin, daß die Anwendung von Kofferdam häufiger erfolgen sollte und führt mehr oder weniger detailliert aus, wie die Anwendung in der Praxis erfolgen sollte (Baum L 1995; Hülsmann 1992; Kamann 1998; Zeppenfeld 1990).

Im Vergleich dazu sind wissenschaftliche Untersuchungen zu den Eigenschaften von Kofferdamfolien oder gar Kofferdamsystemen bisher kaum veröffentlicht worden. Dies führt dazu, daß evidenzstark belegtes Wissen über die Eigenschaften der verschiedenen Materialien und Instrumente maximal auf der Ebene einzelner Expertenmeinungen verfügbar war (A. Svec 1996).

Das **Ziel der vorliegenden Untersuchung** war es daher, zunächst die verschiedenen Folienmaterialien ausgehend vom Naturprodukt Latex sowie latexfreier Polymere zu untersuchen. Jene latexfreien Materialien wurden in jüngster Zeit vor dem Hintergrund zunehmender Berichte über Latex-assoziierte Allergiefälle entwickelt; materialkundlich jedoch bisher nicht wissenschaftlich untersucht.

Auf der Basis eines von der Hamburger Arbeitsgruppe mitbearbeiteten Normvorschlages der American Dental Association (ADA Working Group 90) wurde daher die Bruchfestigkeit sowie die Reißfestigkeit der verschiedenen latexhaltigen- und Latexfreienmaterialien verschiedener Hersteller, verschiedener Stärke und verschiedenen Alters untersucht. Im Ergebnis zeigte sich, daß die Materialeigenschaften latexfreier Materialien mit Ausnahme eines Materials („Isodam“, Fa. Sigma Dental Systems) denen herkömmlicher Latexfolien unterlegen sind. Andererseits zeigten die Ergebnisse auch, daß die Materialeigenschaften einzelner Latexprodukte sich deutlich vom Rest der angebotenen Produkte unterscheiden.

Bei der Nachprüfung der tatsächlichen von den angegebenen Stärken der jeweiligen Folien stellte sich heraus, daß die Sicherheit für die Anwender, bei als „mittel“ be-

zeichneten Folien tatsächlich Folien mittlerer Stärke zu erhalten am größten ist. Die Folien der Stärken „dünn“ sowie „stark“ wichen hingegen häufiger von der Vorgabe ab. Für die nachfolgenden praktischen und der klinischen Situation nachgebildeten Untersuchungen wurden daher einheitlich Folien der Stärke „mittel“ verwendet.

Da in der Praxis für den Zahnarzt in erster Linie das *Verhalten* der Folien in der Anwendung *am Patienten* entscheidend ist, wurde ein zusätzlicher in vitro Versuch konzipiert, mit dem die elastische Dehnung der Folien bei der Applikation auf einem ersten unteren Molaren simuliert wurde. Dabei stellte sich heraus, daß das Dehnungsverhalten nicht in erster Linie vom Fabrikat oder dem Material (Latex/Non-Latex) der Kofferdamfolie sondern in erster Linie von der Geometrie des zur Befestigung der Folie verwendeten Rahmens abhängig ist. Dabei zeigte sich, daß die elastische Deformation zur Isolierung des Zahnes 36 mit signifikant weniger Zugkräften an der Kofferdamklammer einhergehen müßte, wenn der Kofferdamrahmen „Safe-T-Frame“ anstelle eines der anderen verfügbaren Kofferdamrahmen verwendet wird.

Bei der nachfolgenden Untersuchung an einem Phantomkopf, der die Patientensituation erstmalig für eine Kofferdamstudie überhaupt in einer patientenähnlichen Meßapparatur nachbildete, bestätigten sich diese Ergebnisse. Demnach sind die auf die Kofferdamklammer im Seitenzahnbereich einwirkenden Zugkräfte bei Anwendung des neu entwickelten Kofferdamrahmens Safe-T-Frame signifikant geringer als bei den anderen untersuchten Kofferdamrahmen, unabhängig von der eingesetzten Kofferdamfolie und –material der Stärke „mittel“.

Insgesamt führen die Ergebnisse dieser Untersuchung zu dem Schluß, daß in der Breite die verfügbaren latexhaltigen Produkte der Stärke „medium“ für den zahnärztlichen Anwender in ihrem Dehnungsverhalten vorhersehbarer sind als latexfreie Produkte; ein latexfreies Produkt („Isodam“) gleicht allerdings den latexhaltigen Produkten in den mechanischen Eigenschaften. Sofern also bei einem Patient ein begründeter Verdacht einer Latexallergie vorliegt, besteht mit diesem Produkt ein Alternativpräparat vergleichbarer mechanischer Eigenschaften bereit.

Die Sicherheit in der Anwendung am Patienten, speziell bei der Isolation von Seitenzähnen, sind bei Befestigung der Kofferdamfolie auf dem Kofferdamhalter „Safe-T-Frame“ im Vergleich zu allen anderen untersuchten Kofferdamhaltern signifikant zu. Analog dazu sollte das Risiko, daß sich der Kofferdamhalter mitsamt Kofferdamfolie und -klammer vom Zahn unter der Behandlung unbeabsichtigt löst, bei dieser Kombination signifikant niedriger ausfallen (M. O. Ahlers 2003).

7 Literatur

ADA. (1997a) Normvorschlag für Weiterreißversuch der Kofferdamfolien, WG 90 of the American Dental Association: USA

ADA. (1997b) Normvorschlag für Zugversuch der Kofferdamfolien, WG 90 of the American Dental Association: USA

ADA-Normvorschlag. Relaxationversuch, WG 90 of the American Dental Association

ADA-Normvorschlag. Weiterreißversuch, WG 90 of the American Dental Association

ADA-Normvorschlag. Zugversuch, WG 90 of the American Dental Association

Ahlers. (1998) Rubber Dam Holder, Europäisches Patentamt

Ahlers. (1999) Rubber Dam Holder, United States Patent Office

Ahlers (2000) Trockengelegt hält besser. KONS JOURNAL Sonderdruck:32-5

Ahlers (2001) Kofferdam einfacher und sicherer anlegen mit einem neuartigen Rahmendesign. Quintessenz 52(10):1035-44

Ahlers, MO (2003) A new rubber dam frame design--easier to use with a more secure fit. Quintessence Int 34(3):203-10

ASTM-D-624. Standard Test Method for Rubber Property-Tear Resistance

Babcock, JF (1874) Rubber dam punch. Dental Cosmos 16:278

Baum L, P, R, Lund, M (1995) Textbook of Operative Dentistry (Vol. 3 ed). Saunders, Philadelphia

Beer, R (1991) Antibakterielle Therapie in der Endodontie. Quintessenz 42:1739-52

Blinkhorn, AS, Leggate, EM (1984) An allergic reaction to rubber dam. Br Dent J 156(11):402-3

Calder, I (1874) Holes in the Rubber Dam. Dental Cosmos 16:443

Coppes, L (1962) Allergische Reacties op Rubberdam. Ned T Tandheelk 69:821

de Andrade, ED, Ranali, J, Volpato, MC, de Oliveira, MM (2000) Allergic reaction after rubber dam placement. *J Endod* 26(3):182-3

DIN-53504. Prüfung von Elastomeren

DIN-53515. Weiterreißversuch mit der Winkelprobe nach GRAVES mit Einschnitt

Field, EA, Longman, LP, al-Sharkawi, M, King, CM (1997) An immediate (type I) hypersensitivity reaction during placement of a dental rubber dam. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 5(2):75-8

Grossman (1988) In order to maintain an aseptic operating technique, application of the rubber dam is imperative.

Heling (1977) *Primum non nocere secundum curare...* In order to prevent the aspiration and swallowing of small instruments, one should use the rubber dam...

Hellwig, E, Klimek, J, Attin, T (1995) Einführung in die Zahnerhaltung. Urban&Schwarzenberg, München

Hickel, R (2000) Kompositkunststoffe im Seitenzahnbereich.

Hülsmann, M (1992) Kofferdam in der Endodontie. *ZWR* 101(2):72-7

Ireland, EJ (1997) Modification of a vinyl glove into a dental dam for patients sensitive to latex rubber. *Oper Dent* 22(4):186-9

ISO-37-1977(E). (1977) Rubber, vulcanized-Determination of tensile stress-strain properties

ISO. (1979) Rubber, vulcanized-Determination of tear strength (trouser, angel and crescent test pieces, International Organization for Standardization (Vol. ISO34-1979(E))

Kahn, H. (1980) Rubber Dam Holder for Use During Endodontic Therapy, United States Patent Office (Vol. US004, S. 204, 329): USA

Kamann (1996) Die Geschichte des Kofferdams. *Zahnärztl Welt* 105:948-503

Kamann, W (1996) Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung zur Wirkung von Kofferdamklammern auf die Zahnoberfläche. *Endodontie* 5:277-87

Kamann, W (1998) Kofferdam-Wandel von Indikation und Technik. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 108:771-7

Kosti, E, Lambrianidis, T (2002) Endodontic treatment in cases of allergic reaction to rubber dam. *J Endod* 28(11):787-9

Lutz, F, Lüscher, B, Ochsenbein, H, Mühlemann, HR (1976) Adhäsive Zahnheilkunde. Selbstverlag, Zürich

McConville, RS. (1968) Rubber Dam Frame, United States Patent Office (Vol. US003, S. 406,52): USA

Minoodt, I, Slaus, G, Bottenberg, P (2005) [The rubber dam in dental practice: use and practical advice]. Rev Belge Med Dent 60(2):107-14

Patterson, CJ (1989) Polydam--polythene sheet, a practical alternative to rubber dam for patients allergic to rubber compounds. Int Endod J 22(5):252-3

Pecchioni, A (1982) Die Verwendung des Kofferdams. Die Wurzelkanalbehandlung-Eine praktische Anleitung für Studierende und Praktika, S. 61-72. Quintessenz, Berlin

Sauveur, G (1997) Improvement of the rubber dam frame. J Endod 23(12):765-7

Sauveur, M-JG. (1999) Dam Frame for Use During Endodontic Surgery, United States Patent Office (Vol. US004, S. 820, 155): USA

Shanel, KA. (1986) Holder for Rubber Dental Dam, United States Patent Office (Vol. US004, S. 583, 946): USA

Svec, A (1996) Tensile and Tear Properties of Dental Dam. Journal of Endodontics 22(5):253-6

Svec, TA, Powers, JM, Ladd, GD (1997) Hardness and stress-corrosion of rubber dam clamps. J Endod 23(6):397-8

Terry, DA (2005) An essential component to adhesive dentistry: the rubber dam. Pract Proced Aesthet Dent 17(2):106, 8

Vanderbilt Co. (1987) The Vanderbilt latex handbook (Vol. 3rd ed),

Weine, FS (1989) Endodontic therapy, Mosby, St. Louis

Well, MH (1882) Application of the Rubber Dam and Special Clamps and Preparations of Gold Foil. Dental Cosmos 24:460

White, SS (1882) New Rubber Dam Punch. British Journal of Dental Sciences 25:1205

Winkler (1991) Kofferdam in Theorie und Praxis. Quintessenz Verlag-GmbH

Wong, RC (1988) The rubber dam as a means of infection control in an era of AIDS and hepatitis. J Indiana Dent Assoc 67(1):41-3

Zeppenfeld, W (1990) Praxisgerechte Kofferdamtechnik. Zahnärztl Mitt 80:1486-92

ZMK. (2001) Versuchaufbau der auf gem Kofferdamklammer einwirkenden Zugkraft, Die Arbeitsgruppe der Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde am Universität Klinikum Hamburg-Eppendorf: Deutschland

8 Danksagung

Frau Prof. Dr. U. Platzer gilt mein besonderer Dank für die Möglichkeit an Ihrer Poliklinik zu promovieren und umfangreiche klinische Erfahrung zu sammeln.

Herrn PD. Dr. Oliver Ahlers gilt mein besonderer Dank für die Anregung zu diesem Thema und zur Abfassung dieser Dissertation sowie für die stets freundliche und intensive Betreuung sowie für die Hilfestellungen und Anregungen, die er mir bei dieser Arbeit gewährt hat.

Herrn Dr. T. Schroeder möchte ich für seine hilfreiche Unterstützung danken.

Ebenfalls möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. B. Kahl-Nieke, PD. Dr. A. Klocke für die Möglichkeit, die umfangreichen Untersuchungen an Ihrer Universal Prüfmaschine durchzuführen, sowie Frau U. Schultz und Frau M. Schmersahl für die Unterstützung bei diesen Laborarbeiten bedanken.

Last but not least, möchte ich von ganzem Herzen meiner Frau Dr. Faten Othman und meiner Familie, vor allem meinem Großvater Aziz Abdullah, meinem Onkel Dr. Souhail Abdullah für ihre großzügige Unterstützung bedanken.

9 Lebenslauf

Name:	Abdullah
Vorname:	Aziz
Geboren:	10.06.1971 in Baniyas, Syrien
1977-1985:	Grundschule in Baniyas, Syraien
1985-1989:	Gymnasium in Baniyas, Syrien
1989:	Abitur
1989-1994:	Studium der Zahnmedizin an der zahnmedizinischen Fakultät der Universität Tischrin Lattakia-Syrien
05.09.1994:	Staatsexamen
Ab 01.10.1994:	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Endodontie der Universität Tischrin.
10.1994-10.1997:	Postgraduierten Studium der Zahnmedizin in Zahnerhaltungskunde und Endodontie.
Seit 1997:	Mitglied an der Syrischen Gesellschaft für Zahnerhaltung und Endodontie.
1998:	Wissenschaftliche Tätigkeit bei Prof. Dr. Dr. mult. Donath im UKE für einen Monat.
01.06.1999:	Magister für ästhetische Zahnheilkunde.
22.09.1999:	Wissenschaftlicher Vortrag auf dem International Scientific Congress of Syrian Dental Association.
21.04.2000:	Wissenschaftlicher Vortrag auf dem nationalen Zahnmedizin-kongress in Homs.
2000:	Publikation im syrischen „Journal of Stomatologie“.
01.01.2001-heute:	Gastwissenschaftlicher Mitarbeiter an der Abteilung für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde der Universität Hamburg.
26.9.2001:	Wissenschaftlicher Vortrag auf dem 10th Congress of Arab Dental Organizations Union und auf dem 13th International Scientific Congress of Syrian Dental Association.
21.06.2002:	Wissenschaftlicher Vortrag auf dem National Kongress der Zahnerhaltungskunde und Parodontologie in Syrien.
08.07.2003:	Wissenschaftliches Poster auf dem Kongress der International Association for Dental Research (IADR) in Göteborg in Schweden.
Seit 01.01.2003:	Mitglied der IADR.
Seit 28.4.2003:	Selbständige Tätigkeit (Fortbildung).
Seit 31.3.2004:	Selbständige Zahnärztliche Nebentätigkeit in zwei Praxen neben meiner wissenschaftlichen Tätigkeit im UKE.
12.6.2004:	Zwei wissenschaftliche Vorträge auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung in Wuppertal.
Nov. 2004:	Wissenschaftliches Projekt auf dem Gebiet der Adhäsiv-Technik am Heinrich-Pette-Institut, Hamburg.

10 Erklärung

Ich erkläre ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Andere als die von mir angegebenen Hilfsmittel und Quellen wurden nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen habe ich einzeln kenntlich gemacht. Ich habe diese Dissertation bisher keinem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben.

Hamburg, 15.12.2005