

Aus der Universitätspoliklinik für Zahnärztliche Prothetik
an der Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg
(Direktor: Prof. Dr. med. dent. habil. Jürgen M. Setz)



Einfluß der Dampfsterilisation auf das elastische Verhalten von Gummipolierern

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg

von Christian Wegner aus Magdeburg

Gutachter:

1. Prof. Dr. J. Schaller
2. Prof. Dr. H.-G. Schaller
3. Prof. Dr. J. Geis-Gerstdorfer

Tag der Verteidigung: 08.12.2004

urn:nbn:de:gbv:3-000008122

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000008122>]

Meinen Eltern

Das schönste Glück des denkenden Menschen ist, das Erforschliche
erforscht zu haben und das Unerforschliche ruhig zu verehren.

Goethe

Referat

Die Qualität einer zahnärztlichen Restauration wird maßgeblich durch ihre Oberflächengüte bestimmt. Eine glatte Oberfläche verringert die chemisch wirksame Fläche, reduziert die Anlagerung von Plaque und verbessert die Ästhetik.

Die Politur der Oberfläche trägt so zu einer Veredelung der Restauration bei. Zur Politur ist es notwendig, eine Oberfläche mit rotierenden Instrumenten zu bearbeiten. In der Praxis haben sich Gummipolierer als geeignete Instrumente erwiesen. Gummipolierer bestehen aus Abrasivkörpern, die in eine Matrix eingebettet sind. Durch Kontakt mit dem Werkstück wird die Matrix reduziert und die Abrasivkörper freigelegt. Die Eigenschaften der Matrix und die Körnung der Abrasivkörper bestimmen vornehmlich das Polierverhalten.

Durch Kontakt mit Speichel werden die Polierer während ihres Einsatzes mikrobiell kontaminiert. Vor der erneuten Verwendung eines Poliers müssen alle Keime zuverlässig entfernt werden. Die Sterilisation bietet sich als Verfahren der Wahl an, eine Freigabe seitens der Hersteller der Gummipolierer liegt in allen Fällen vor.

Bei einer Umfrage in zufällig ausgewählten Zahnarztpraxen in Sachsen-Anhalt zu diesem Thema wurde auf Veränderungen der Poliereigenschaften nach dem Sterilisationsvorgang hingewiesen. So beschrieben viele Behandler eine Verhärtung der Gummipolierer mit zunehmender Anzahl der Sterilisationsvorgänge.

Nach Entwicklung einer geeigneten Prüfmaschine wurde von einer Gruppe zufällig ausgewählter Gummipolierer der Firmen Buchs, Eve, Edenta, Ivoclar/Vivadent, Meisinger, Shark Dental und Schofu der E-Modul vor der Sterilisation, nach fünf und nach zehn Sterilisationsvorgängen bestimmt.

Keiner der Gummipolierer überstand den Sterilisationsvorgang ohne Veränderung des E-Modul. Bei einigen war die gemessene Veränderung sehr stark, bei anderen geringer. Es konnte so gezeigt werden, dass die Sterilisation nicht ohne Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften der Gummipolierer bleibt. Dieser Befund widerspricht den Aussagen der Hersteller.

Wegner, Christian: Einfluß der Dampfsterilisation auf das elastische Verhalten von Gummipolierern

Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 43 Seiten, 2004

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Umfrage	3
1.2 Literatur	3
1.3 Zielstellung	4
2 Material und Methode	5
2.1 Material	5
2.1.1 Gummipolierer	5
2.2 Sterilisationsverfahren	7
2.3 Prüfmaschine	9
2.3.1 Lastenheft	9
2.3.2 Bestandteile	10
2.3.3 Kalibrierung	19
2.3.4 Ablauf einer Messung	19
2.3.5 Verarbeitung der aufgenommenen Daten	20
2.4 Durchführung	24
2.4.1 Ermittlung der Präzision der Maschine	24
2.4.2 Hauptversuch	25
2.5 Statistische Auswertung	26
3 Ergebnisse	27
3.1 Vortest	27
3.2 Hauptversuch	27
4 Diskussion	33
4.1 Methode	33
4.1.1 Versuchsaufbau	33
4.1.2 Wertigkeit der Ergebnisse	34
4.2 Ergebnisse	35
5 Literaturverzeichnis	37
6 Anhang	
6.1 Herstellernachweis	39
6.2 Umfrage	40
6.3 Versuchsaufbau	41
6.4 Beispielrechnung	42
7 Thesen	43

1 Einführung

In der Mundhöhle sind alle Dentalwerkstoffe konstant chemischen und mechanischen Einflüssen ausgesetzt. Betrachtet man diese Vorgänge genauer, ist es jedoch nicht der Werkstoff als Ganzes, sondern seine Oberfläche, die mit der Umgebung reagiert.

Somit hat der Oberflächenzustand erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer bzw. auf die Dauerfestigkeit eines Werkstücks. Je glatter die Oberfläche ist, desto längere Zeit oder desto öfter kann ein Werkstück höheren Belastungen ausgesetzt werden. Um eine glatte Oberfläche zu erreichen, wird der Werkstoff poliert. Dies geschieht einerseits durch eine Bearbeitung mit geringfügigem Materialabtrag, der sich nur graduell vom Schleifen unterscheidet, und andererseits durch plastische Deformation unter lokal hohen Druck- und Temperaturspitzen [Eichner 2000].

Ziel der Politur ist es, die Widerstandsfähigkeit des Ersatzmaterials zu erhöhen durch :

- Verdichtung der Oberflächenstruktur
- Verkleinerung der aktiven Oberfläche und
- Reduktion feinstruktureller Angriffspunkte [Körber 1993]

Die Verdichtung der Oberflächenstruktur hat bei kristallin aufgebauten Stoffen die Bildung einer sehr dünnen, oberflächennahen Zone zur Folge, die ein äußerst feinkörniges Gefüge mit relativ hoher Härte und Korrosionsresistenz aufweist [Eichner 2000].

Durch die Verkleinerung der wirksamen Oberfläche werden chemisches Verhalten sowie physikalische und mechanischen Eigenschaften des Materials verändert. Die Reduktion der Anfälligkeit für Korrosion, Risschäden und biologische Reaktionen bewirkt eine „Veredelung“ [Eichner 2000]. So hängt die Gewebsverträglichkeit der Werkstoffe von der Wechselwirkung zwischen Werkstoffoberfläche und natürlichem Gewebe ab [Körber 1993]. An polierten Oberflächen setzen sich Speisereste nur geringfügig ab. Dadurch verringert sich die bakterielle Umsetzung von Plaque, wodurch unangenehmem Mundgeruch und Geschmack vorgebeugt wird. Ablagerungen lassen sich auf polierten Flächen leicht entfernen, der Bildung von Zahnstein wird somit vorgebeugt [Ernst 1991]. Auf einer sorgfältig polierten Amalgamfüllung kommt es seltener zur Bildung sulfidischer Beläge. Zudem erhöhen glatte Übergänge zwischen Füllung und Zahnhartsubstanz den Randschluss und beugen so Verfärbungen, Belagsbildung, Retention von Speiseresten und damit Sekundärkaries vor [Eichner 1985].

Eine glatte Oberfläche bedeutet bessere Hygienefähigkeit und Ästhetik [Schwickerath 1977] und verhütet so Entzündungen und Reizungen der umliegenden Gewebe. Durch Reibung an rauen Flächen kann eine mechanische Irritation der Mundschleimhaut hervorgerufen werden, zudem kann es zur Beeinträchtigung der Phonetik kommen [Ernst 1991].

Diese Folgen können durch eine Politur der Restauration minimiert werden. In der zahnärztlichen Praxis werden für diese Oberflächenvergütung bei Metallen, Keramiken und Kunststoffen sogenannte Gummipolierer verwendet. Es handelt sich hierbei um rotierende Instrumente. Durch Glätten von oberflächlichen Rauigkeiten wird eine Politur erreicht.

Bei der Anwendung im Mund bzw. auf mit Speichel benetzten Oberflächen wie Prothesen, Kronen und Brücken muss davon ausgegangen werden, dass eine Kontamination des Polierers mit Mikroorganismen erfolgt.

Bei unzureichender Aufbereitung der Polierer kann es zu einer Übertragung von Keimen eines Patienten auf einen anderen kommen. Um diese Kreuzkontamination zu verhindern, fordern der DAHZ (Deutscher Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnarztpraxis) in Zusammenarbeit mit der DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde) in ihren Hygieneempfehlungen eine generelle Keimfreiheit von allen am Patienten zur Anwendung gebrachten Instrumenten.

Diese Forderung kann entweder durch die Verwendung von Einmalartikeln oder durch eine hygienische Aufbereitung von Mehrwegpolierern sichergestellt werden. Da die Polierer in allen Bereichen der Zahnmedizin zum Einsatz kommen, bedeutet die Verwendung von Einmalartikeln in der durchschnittlichen Zahnarztpraxis jährlich eine erhebliche finanzielle Mehrbelastung. Eine eigene Kalkulation ergab einen Mehraufwand von ca. 6800,-Euro (Rechnung im Anhang).

Sollen die Polierer erneut verwendet werden, stellt die Sterilisation die sicherste aller Aufbereitungsmöglichkeiten dar [Stine 2003, Bebermeyer 2003].

1.1 Umfrage

Doch die Theorie weicht von der Praxis stark ab. Eine im Vorfeld durchgeführte Umfrage in zufällig ausgewählten Zahnarztpraxen in der Region Magdeburg/Halle zu dieser Thematik brachte folgende Ergebnisse.

Nur 47,7% der Befragten kennen die entsprechenden Hygienerichtlinien, alle jedoch benutzen mehrfach verwendbare Polierer. In nur 21,1% der befragten Praxen werden diese Instrumente sterilisiert, die anderen desinfizieren meist aus der Erfahrung heraus, daß sich die Materialeigenschaften ändern und die Polierer für eine weitere Verwendung nicht mehr zu gebrauchen sind. Die Behandler berichten über eine Abnahme der Härte der Polierer und massiv veränderte Poliereigenschaften, die eine regelrechte Handhabung nicht mehr ermöglichen.

Die Hersteller der Polierkörper geben hingegen eine generelle Freigabe zur Sterilisation, Materialveränderungen seien ihnen, wie eine telefonische Umfrage ergab, angeblich nicht bekannt.

1.2 Literatur

In der internationalen Literatur finden sich keine Hinweise auf vergleichbare Studien, die den Einfluss der Sterilisation auf Gummipolierer untersucht haben. Jedoch ist bekannt, dass die Sterilisation erheblichen Einfluss auf die Materialeigenschaften anderer rotierender Instrumente hat.

So beobachteten Thierry et al. (2000) auf NiTi-Materialien Oberflächenveränderungen, die durch Hitzesterilisation hervorgerufen wurden.

Rapisarda et al. (2000) beschreiben eine Veränderung der Schneideigenschaften von NiTi-Feilen nach dem Autoklavieren.

Lee et al. (2001) stellten Veränderungen der Oberflächenrauigkeit und der Friktion bei NiTi-Drähten fest, die eindeutig auf die Autoklavierung zurückzuführen sind.

Sutton et al. (1996) untersuchten die Frakturhäufigkeit von Kofferdamklammern nach der Sterilisation und beschreibt einen Zusammenhang der Frakturhäufigkeit und der Sterilisationsvorgänge.

1.3 Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, festzustellen, ob Gummipolierer sterilisierbar sind, ohne ihre wesentlichen Materialeigenschaften zu verändern. Im Vorfeld soll dazu eine geeignete Prüfmaschine entwickelt werden. Auf der Basis der Untersuchungen soll als Ergebnis eine Liste zusammengestellt werden, welche die für die Dampfsterilisation geeigneten Polierer wiedergibt.

2 Material und Methode

2.1 Material

2.1.1 Gummipolierer

Aufbau

Das umgangssprachlich verwendete Wort „Gummipolierer“ ist wissenschaftlich nicht hinterlegt. Es beschreibt rotierende Abrasivpolierkörper zur Politur von Oberflächen. Die meisten Gummipolierer bestehen aus einem zylindrischen Stahlstift unterschiedlicher Länge aber gleichen Durchmessers. Dieser genormte Stift wird einseitig in das zahnärztliche Handstück eingespannt. Auf dem gegenüberliegenden Ende ist eine Grundmasse aufgebracht, welche Abrasivkörper wie z.B. gemahlene Gläser enthält. Diese Grundmasse bestand früher aus Gummi. Gummi erwies sich aufgrund seiner Wärmeentwicklung während der Politur und seiner ungünstigen mechanischen und chemischen Eigenschaften jedoch als ungünstig für den zahnärztlichen Einsatz [Kimmel 1977]. Heute werden daher vornehmlich Polysiloxane als Bindemittel eingesetzt. Polysiloxan erzeugt fast keine Reibungswärme, ermöglicht durch leichtes Freilegen und Freigeben des Polierkornes ein sauberes Arbeiten ohne unangenehmen Geruch oder Verschmutzung des Arbeitsplatzes. Nach Herstellerangaben soll eine Unempfindlichkeit gegen chemische und thermische (bis zu 200 °C) Einflüsse vorliegen [Kimmel 1977].

Die genaue Zusammensetzung dieser Grundmasse ist von Hersteller zu Hersteller und von Anforderung zu Anforderung verschieden, unterliegt dem Firmengeheimnis und war von keinem der Hersteller erhältlich.

Der grundsätzliche Aufbau ist in folgender Skizze dargestellt:

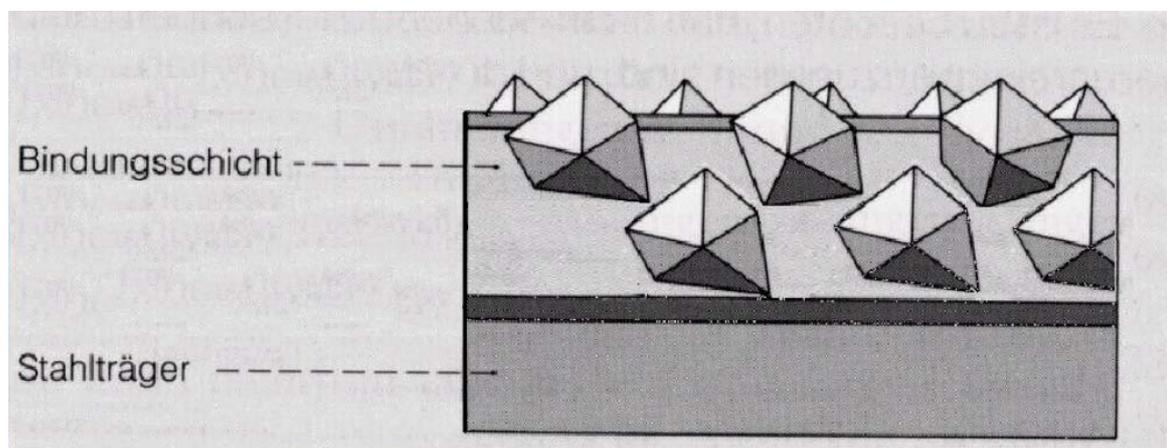


Abb.1: schematischer Aufbau eines Gummipolierers mit unregelmäßig begrenzten Abrasivkörpern, eingelagert in eine Bindungsschicht

Das Einsatzgebiet des Gummipoliers bestimmt seine Form und seine Eigenschaften. So werden Polierer für Kunststoffe eher weicher ausfallen, diejenigen für Modellgußlegierungen eher härter.

In dieser Studie wurden Polierer der Firmen Buchs, Edenta, Eve, Ivoclar, Meisinger, Shark und Shofu getestet (Herstellernachweis im Anhang).

Auswahlkriterien

Aus technischen Gründen ist nicht jeder anwendbare Polierer mit der hier vorgestellten Methode messbar, da oft der Abstand von der Gummipoliererspitze bis zum unterstützenden Metallstift weniger als 2 mm beträgt. Dieser Abstand reicht scheinbar nicht für eine elastische Verformung, die meisten dieser Polierer wurden schon während der ersten Messung in einem Vorversuch zerstört und wurden somit nicht in diese Studie einbezogen.

Auswahl

Es wurden jeweils 5 Polierer der folgenden Firmen untersucht:

Tab.1:Verwendete Polierer

Hersteller	Typ	Chargennummer
Buchs SG	Identoflex Composite	ID 5011/6 W 1001 CA
Eve	Silikonpolierer	REF H4 LOT 95847
Edenta	Exa Composite RA	Ord.Nr.0831RA-12
	Cerapol Super grau	Ord.Nr.0371HP-12
	Alphaflex	Ord.Nr.0141HP-12
Ivoclar/Vivadent	Politip F „B“ grau	NOPA/6 #533602
Meisinger	Greenie	Nicht bekannt
	Brownie	Nicht bekannt
	Schwarz (9580)	Nicht bekannt
Shark Dental	Polierer Brownie	0032RA-12 LOT K10.034
	Polierer Greenie	0132RA-12 LOT H05.001
	Polierer universal	0530RA-12 LOT K05.002
	Polierer Technik Gold	0141HP-12 LOT G08.002
	Polierer Composite	0730RA-12 LOT K05.001
Shofu	Amalgam grün	Nicht bekannt
	Amalgam braun	Nicht bekannt

2.2 Sterilisationsverfahren

Sterilisieren ist das Abtöten bzw. das irreversible Inaktivieren aller vermehrungsfähigen Mikroorganismen (DIN 58900/1) [Borneff 1994].

Die Sterilisation kann mit unterschiedlichen Verfahren durchgeführt werden:

Physikalische Methoden

Thermische Inaktivierung

Energereiche Strahlen

Plasmasterilisation

Chemische Methoden

Ethylenoxid-Sterilisation

Formaldehyd-Sterilisation

Thermische Inaktivierung

Für die thermische Inaktivierung stehen zwei Verfahren zur Verfügung – die Dampfsterilisation und die Heißluftsterilisation.

Heißes Wasser oder Wasserdampf ist wesentlich wirksamer als trockene Wärme gleicher Temperatur, weil ihr Wärmeinhalt größer ist und die Keime, insbesondere die wasserarmen Sporen, aufquellen und damit hitzeempfindlicher werden [Borneff 1994]. Gespannter Dampf entsteht durch Erhitzen von Wasser in einem geschlossenen Gefäß. Der Dampf kondensiert am Sterilgut und die dabei freiwerdende Energie führt durch Proteinkoagulation zum Zelltod bzw. zur Inaktivierung von Viren. Der unmittelbare Kontakt von Mikroorganismen und dem Wasserdampf ist damit Voraussetzung für den Sterilisationserfolg. Aus diesem Grund sollte die im Sterilgut vorliegende Luft sicher entfernt werden. Diese Forderung kann durch zwei Verfahren sichergestellt werden. Bei dem Strömungsverfahren verdrängt der einströmende Dampf die Luft bei dem Vakuumverfahren wird die Luft durch eine Pumpe entfernt. Das Strömungsverfahren findet bei den meisten zahnärztlichen Kleinstereilatoren Verwendung.

Bei der Heißluftsterilisation erfolgt die Keimabtötung bzw. Inaktivierung durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung, bei bewegter Heißluft auch durch Wärmekonvektion. Bei diesem Verfahren sind deutlich höhere Temperaturen über deutlich längere Zeiten erforderlich, um eine Sterilisation sicherzustellen. Mögliche

Bedienfehler und technische Schwierigkeiten drängen angesichts der ausgereiften Dampfsterilisation dieses Verfahren an den Rand.

Energiereiche Strahlen

Bei diesem Verfahren wird das Sterilgut einer energiereichen oder ionisierenden Strahlung ausgesetzt. Der Aufwand dafür ist jedoch so groß, dass sich der Einsatz nur für industrielle Zwecke rentiert.

Plasmasterilisation

Bei der Plasmasterilisation werden chemische Verbindungen wie z.B. Wasserstoffperoxid durch ein elektrisches oder magnetisches Feld zu 100% ionisiert. Dieses Plasma wirkt aufgrund der freien Radikale sterilisierend. Dieses Verfahren ist sehr gut für thermolabile und nicht korrosionsfeste Stoffe geeignet, befindet sich jedoch noch nicht im alltäglichen Einsatz.

Ethylenoxid-Sterilisation

Bei diesem Verfahren werden die Mikroorganismen und Viren aufgrund der Alkylierung chemischer Strukturen in den Zellen inaktiviert. Die Sterilisation findet unter Zimmertemperatur statt, so dass besonders empfindliche Geräte wie z.B. Optiken keinen Schaden nehmen. Ethylenoxid ist jedoch stark krebserregend. Der Betrieb einer solchen Sterilisationsanlage ist mit enormen Auflagen verbunden, so dass sich ein Einsatz in der Zahnarztpraxis nicht rentiert.

Formaldehyd-Sterilisation

Bei der Formaldehyd-Sterilisation kommt es zu einer Denaturierung von Proteinen. Die Anwendung erfolgt im Formaldehyd-Wasserdampfgemisch bei ca. 60 °C. Die Auflagen sind ähnlich den von Ethylenoxid und somit ist dieses Verfahren für die Zahnarztpraxis ungeeignet.

Die Sterilisation mit gespanntem, gesättigtem Wasserdampf gilt als zuverlässigstes Verfahren. Sie sollte deshalb, wann immer möglich, den anderen Sterilisationsverfahren vorgezogen werden [Schwenzer 2000].

2.3 Prüfmaschine

Da diese Arbeit als Beginn weiterer Untersuchungen angesehen wird, sollte die zu entwickelnde Prüfmaschine möglichst universell anwendbar sein. Zum Zeitpunkt der Untersuchung stand jedoch noch nicht fest, welche Parameter in der Zukunft geprüft werden sollen. So erschien die Entwicklung einer modular aufgebauten Prüfmaschine als zweckmäßig, da später noch besser auf mögliche Änderungen eingegangen werden kann. Bevor eine Maschine entwickelt werden kann, sollten die Anforderungen klar definiert werden.

2.3.1 Lastenheft

Als Lastenheft bezeichnet man im Maschinenbau eine Zusammenstellung der gewünschten Eigenschaften einer Neuentwicklung. Da auch für diese Untersuchung eine Maschine konstruiert werden sollte, werden zunächst die gewünschten Eigenschaften zusammenfassend dargestellt.

Die Veränderungen, die ein Gummipolierer durch die Sterilisation erfährt, wird von vielen der befragten Zahnärzte als eine Verhärtung bzw. als eine Abnahme der Härte beschrieben. Die Maschine sollte aufgrund dieser Beobachtungen also in der Lage sein, diese Veränderung mit physikalischen Meßwerten auszudrücken, hierzu eignet sich ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

Aus dieser Forderung resultiert der Wunsch nach:

- einer gesteuerten Linearbewegung in einer Ebene,
- einem geeigneten Werkzeug zur Verformung des Polierkörpers,
- einer Spannvorrichtung, in welcher der Polierer eindeutig fixiert werden kann,
- einem geeigneten Meßgerät zur Registrierung der Belastung des Polierers,
- einer zentralen Steuerungsmöglichkeit,
- einer automatischen Protokollierung.

Gleichzeitig soll die Maschine universell einsetzbar und vor allem modular aufgebaut sein, um für andere Versuche einfach umgebaut werden zu können. Dieser Anspruch bedingt die Verwendung von industriell genormten, lösbaren Verbindungen, Standardabmessungen und –materialien.

2.3.2 Bestandteile

Hardware

isel-Kugelgewindvorschub LF4

Um die Forderung nach einer gesteuerten Linearbewegung erfüllen zu können, wurde ein Kugelgewindvorschub der Firma isel verwendet.

Hierbei handelt es sich um ein eloxiertes Aluminium-Wellenaufnahmeprofil mit den Maßen 75 x 75 x 390 mm. Ein Wellenschlitten gleitet auf zwei Präzisionsstahlwellen der Härte HRC 60 +/-2. Die Steigung des Kugelgewindetriebes beträgt 2,5 mm. Der Vorschub ist für den Direktantrieb mit einem isel-Schrittmotor vorbereitet.

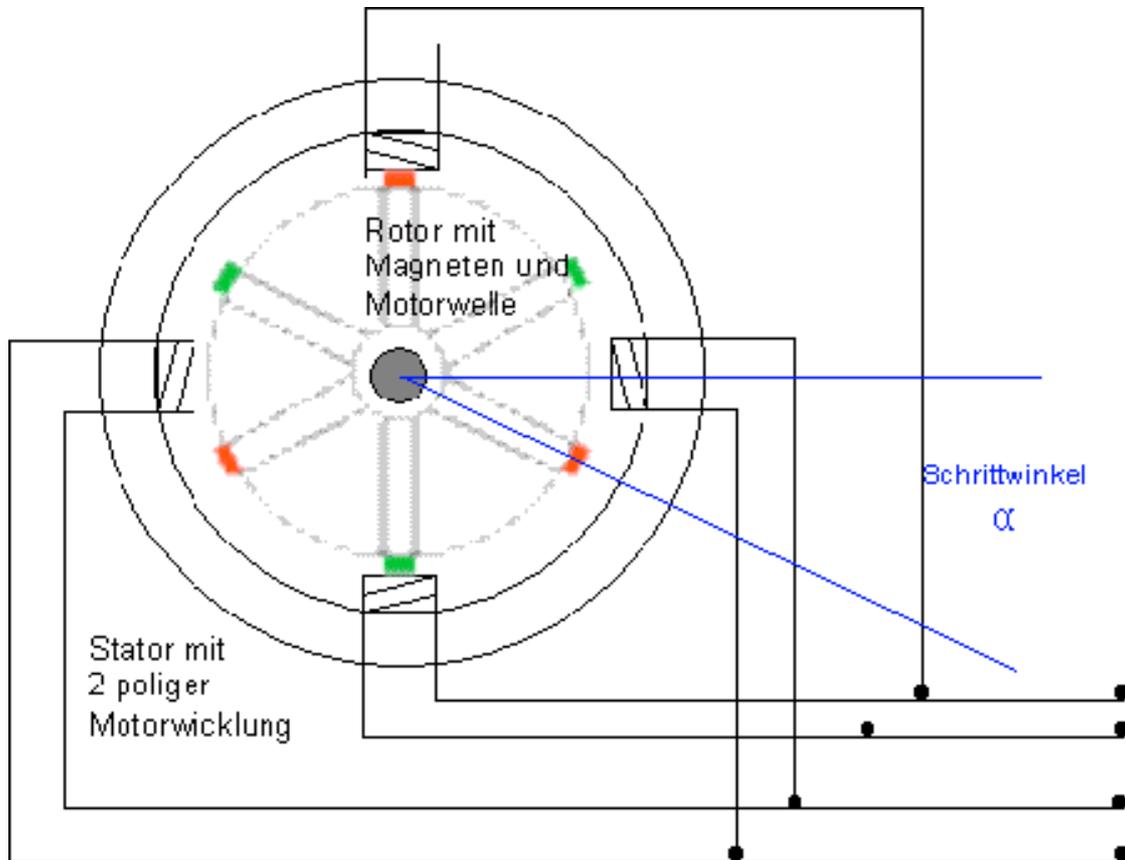
Schrittmotor

Um einen steuerbaren und nachvollziehbaren Vortrieb des Werkzeugs sicherstellen zu können, wird die Linearspindel von einem Schrittmotor angetrieben. Schrittmotoren gibt es seit bereits mehr als 35 Jahren. Sie werden in sehr vielen Bereichen eingesetzt, zum Beispiel als Antriebe in Uhren, Druckern, Plottern bis hin zum Bewegen großer Massen in Maschinen.

Ein Schrittmotor wandelt elektrische Steuerimpulse in definierte Winkeldrehungen seiner Antriebswelle um. Die typischen Hybridschrittmotoren benötigen 200 Schritte pro Umdrehung. Damit sind exakte Positionierungen leicht und kostengünstig ohne separates Messsystem und Lageregler realisierbar. Aus diesem Grunde hat sich der Schrittmotor bei vielen Anwendungen durchgesetzt, bei denen Positionierbewegungen ausgeführt werden. Zur Steuerung einer Schrittmotorachse sind als weitere Komponenten eine Leistungsendstufe, welche die Motorwicklungen definiert bestromt, und ein Indexer erforderlich, welcher den Takt und die Drehrichtung des Motors vorgibt.

Ein Schrittmotor besteht, wie bei den meisten Elektromotoren üblich, aus einem Stator (der feststehenden äußeren Wicklung) und einem Rotor (rotierende Welle mit Magneten). Über die Motoranschlüsse werden die Motorwicklungen bestromt. Eine Stromzufuhr der Motorwicklungen bewirkt in dem Motor ein Magnetfeld von Nord nach Süd (bei negativer Polung der Stromzufuhr und entsprechendem Wickelsinn von Süd nach Nord). Der bewegliche Stator mit seinen Permanentmagneten richtet sich

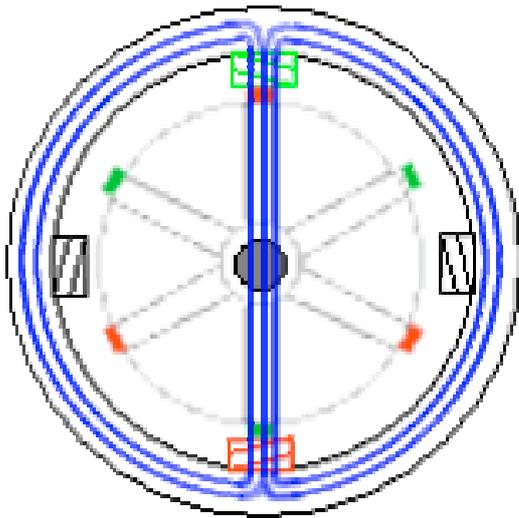
entsprechend der Richtung des äußeren Magnetfeldes vom Stator aus. Der Motor dreht sich ein kleines Stück. Beim Schrittmotor ist die Drehbewegung nicht kontinuierlich, sondern erfolgt jeweils Schrittweise um den Winkel α .



Im oberen Bild sind die Magnete des Rotors farblich gekennzeichnet. Ein grüner Magnet stellt einen Nordpol, und ein roter Magnet einen Südpol dar. Zwei entgegengesetzte Polaritäten ziehen sich an, zwei gleichnamige Polaritäten stoßen sich ab. Man kann sich die Magnete des Rotors wie eine kreisförmige Aneinanderreihung von vielen Hufeisenmagneten vorstellen.

Abb.2: Schnittzeichnung eines Schrittmotors

Der Stator im folgenden Bild besteht aus jeweils zwei gegenüberliegenden Spulen, einer Motorphase. Der abgebildete Motor besitzt zwei Motorphasen oder Wicklungsstränge, welche unabhängig voneinander bestromt werden können. Da hier immer zwei gegenüberliegende Statorspulen welche eine Motorphase aus Süd und Nordpol bilden, miteinander verschaltet sind, ist dies ein bipolar anzusteuender Schrittmotor.



Der magnetische Fluss ist über Rotor, die Pole mit umschlossener Wicklung und den magnetischen Rückschluss zu sehen. Die Richtung und die Stärke des Magnetflusses von Pol zu Pol quer durch den Rotor bestimmt das Drehmoment und die Drehrichtung des Motors.

Abb.3: Schemazeichnung eines Schrittmotors

Die Linearspindel wird in diesem Fall von einem bipolaren Schrittmotor der Firma isel angetrieben.

isel-1-Achs-Controller IT 142.1-C

Der isel-Schrittmotor-Controller IT 142.1 C ist ein Steuergerät für einen bipolaren Schrittmotor. Er verfügt über eine Prozessorkarte, eine Leistungsendstufe und ein AC-Netzteil mit Überwachung sicherheitsrelevanter Komponenten.

Das Betriebssystem der Prozessorkarte ermöglicht die Programmierung des Controllers sowohl im CNC-(Speicherbetrieb) als auch im DNC-Modus (Direktausführung)

Die Verbindung mit einem Steuerrechner erfolgt über eine serielle Schnittstelle nach RS-232-Norm.

isel-Interfacekarte UI 4.C-E/A

Technische Daten:

- 8-Bit-Mikro-Controller mit Schrittmotor-Betriebssystem 4.1
- Positioniergeschwindigkeit maximal 10.000 Schritte/s
- 32 kB-Datenspeicher, optional mit Akku zur Datensicherung
- 8 optoisolierte Signalein- und 16 Relais- Schaltausgänge
- serielle Schnittstelle nach RS 232

Die Interfacekarte basiert auf einem 8-Bit-Mikro-Controller-System mit 32 kB Betriebs-EPROM und 32 kB Datenspeicher.

Zur Programmierung von Bewegungsabläufen stehen dabei unter anderem Befehle zur relativen und absoluten Positionierung von bis zu drei Schrittmotoren, Nullpunktfahrt und virtuelle Nullpunkte zur Verfügung. Die maximal erreichbaren Positioniergeschwindigkeiten liegen zwischen 30 und 10.000 Schritten/Sekunde. Der Wertebereich beträgt dabei 24 Bit, d.h. eine maximale Wegauflösung von +/-8.000.000 Schritten.

Zur Ansteuerung von Schrittmotorleistungsendstufen erzeugen isel-Interfacekarten Signale für Takt, Richtung, Stromabsenkung während Motorstillstand, Takt-Stop und Voll-/Halbschrittumschaltung.

Die Programmierung der Interfacekarte sowie die Kommunikation mit anderen Rechnersystemen ist über eine serielle Schnittstelle mit Software-Handshake und 256 Byte Pufferbereich realisiert. Sie ermöglicht eine zuverlässige 3-Draht Verbindung zu Steuerrechnern, wobei Baudraten von 2400 Bd bis 9600 Bd über DIP-Schalter umschaltbar sind.

isel-Schrittmotorkarte UME 7008

Technische Daten:

- bipolare Leistungsendstufe für 2(4)-Phasen-Schrittmotoren
- Konstantstromregelung mit 20kHz Chopperfrequenz
- Phasenstrom maximal 8,0 A, kurzschlussfest
- Betriebsspannung 70 V/DC

Die isel-Schrittmotor-Leistungskarte UME 7008 ist eine Microstep-Leistungsendstufe für bipolare 2(4)-Phasen-Schrittmotoren, welche nach dem bipolar Konstantstromprinzip arbeitet und dem Motor einen einstellbaren Phasenstrom von bis zu 8 A zur Verfügung stellt. Zur Ansteuerung stellt die Endstufe Signaleingänge für Takt, Richtung, Boost und Reset zur Verfügung. Die isel-Schrittmotor-Leistungskarte steuert den Schrittmotor im Halbschrittbetrieb (1 Schritt = 0,9°) an.

Die Bedienungsanleitung weist auf eine Besonderheit der Ansteuerung von Schrittmotoren mit dieser Leistungsendstufe hin, die von entscheidender Bedeutung für die Programmierung ist. Ein einmal vom Rechner über den RS232-Port erteilter Fahrbefehl wird sofort ausgeführt. Weitere Befehle werden in der Zeit der Abarbeitung des erteilten Fahrbefehls nicht beachtet. Es ist also nicht möglich, dem Schrittmotor einen unendlich langen Fahrbefehl zu erteilen, und diesen bei Bedarf aufzuheben. Aus diesem Grund wurde in der Steuersoftware eine Schleife generiert. Der Motor bekommt dadurch einen relativen Fahrbefehl über 5 Schritte, ein kleineres Intervall erscheint technisch nicht sinnvoll. Ist dieser abgearbeitet, wiederholt sich der Fahrbefehl. Auf diese Weise ist es möglich, kurzfristig auf Änderungen im Betrieb einzugehen und z.B. einen Versuch bei Überschreitung der maximalen Belastung abzubrechen.

Werkzeug

Das Werkzeug soll mit einer definierten Oberfläche den Polierkörper verformen. Es wurde ein zylindrisches Werkzeug aus Edelstahl mit dem Durchmesser 5 mm ausgewählt, die Arbeitsspitze ist mit dem Radius von 50 mm gerundet.

Das Werkzeug ist lösbar über einen individuell hergestellten Werkzeughalter aus Messing mit der Grundplatte des Linearvorschubs fest verbunden.

Wägezelle

Es kommt die Wägezelle PW2C3 der Firma HBM zur Anwendung. Sie zeichnet sich durch eine hohe Genauigkeit, eine geringe Bauhöhe und ein schnelles Einschwingverhalten bei einer guten Kosten-Nutzen-Relation aus.

Bei der Wägezelle handelt es sich um einen Quader, der waagrecht montiert an einer Seite befestigt ist und auf der gegenüberliegenden Seite belastet wird. Diese Belastung führt zu einer Scherwirkung, die über hochempfindliche Dehnungsmessstreifen an Ober- und Unterseite registriert wird. Durch die Umwandlung in der dazugehörigen Maßeinheit wird ein Signal zwischen 0V (unbelastet) und 10V (max. belastet) ausgegeben.

Spannvorrichtung

Die Spannvorrichtung soll den Polierer während der Messung eindeutig fixieren. Sie ist hierzu über eine Messinggrundplatte mit der Wägezelle kraftschlüssig, aber lösbar verbunden. Der Polierer wird zum Festspannen in eine horizontale Führungsbohrung mit dem Durchmesser 2,5 mm geschoben und mit einer Rändelschraube eindeutig fixiert. Die Tiefe des horizontalen Einschubs wird durch einen auf der Grundplatte befestigten Anschlag definiert. Dieser Anschlag ist verstellbar, da nicht alle Polierer identische Arbeitslängen aufweisen.

Steuereinheit HBM

Über eine elektrische Schaltung erfolgt die Umwandlung der Signale der Dehnungsmessstreifen in ein stabiles Ausgangssignal zwischen 0 und 10V. Über die Steuereinheit ist eine Anpassung der Wägezelle an unterschiedliche Maximalbelastungen möglich. Diese Einstellungsmöglichkeit verbessert die Auflösung im Verformungsbereich des Gummipolierers enorm. Die maximale Belastung ist auf 3,5 kg eingestellt.

Analog-Digital-Wandler

Ein A-D-Wandler ist notwendig, um das analoge Signal der Wägezelle (0-10V) in ein für einen Computer verwendbares digitales Signal umzuwandeln. Hierbei spielt die Geschwindigkeit und die Anzahl der möglichen Signaleingänge eine wichtige Rolle. Um eine spätere Erweiterung zu gewährleisten, kommt in dieser Maschine die Karte PCI6024E der Firma National Instruments[®] zum Einsatz. Sie kann bis zu 10 verschiedene Signale gleichzeitig konvertieren und ist durch einen PCI-Steckplatz auch in moderneren Computersystemen einsetzbar.

Grundgerüst

Das Grundgerüst soll alle Bestandteile des Versuchsaufbaus mechanisch fest miteinander verbinden. Um die Messergebnisse nicht zu verfälschen, sollten die während einer Messung theoretisch auftretenden Kräfte nicht zu einer elastischen oder plastischen Verformung des Versuchsaufbaus führen.

Aus diesen Gründen wurde das Grundgerüst aus einer hochfesten Aluminiumlegierung hergestellt. Es wurden hierfür zwei senkrecht zueinander stehende Profilschienen verwendet. Diese sind sehr verwindungsstabil und ermöglichen eine eindeutige Befestigung der Einzelteile. Durch das Schienenprofil kann eine lineare Verstellung erfolgen. Somit ist eine Anpassung an andere Versuche möglich. Beide Profile sind über Messingwinkel mehrfach miteinander verwindungsstabil verschraubt.

Der Kugelgewindenvorschub wurde mit Winkeln aus einer hochfesten Aluminiumlegierung an der Schiene befestigt, eine lineare Verstellung ist nach Lösen der Schraubverbindungen möglich.

Die Wägezelle ist ebenfalls mit der Profilschiene verschraubt. Ein Messingblock sichert die räumliche Freiheit der Wägezelle und dient als Distanzhalter.

Auf der Wägezelle ist eine Grundplatte durch Schraubverbindungen befestigt. Ein Messingplättchen dient als Distanzhalter.

Der Werkstückhalter ist mit dieser Grundplatte aus Messing verschraubt. Mehrere in der Grundplatte vorgefertigte Bohrungen mit Gewinde ermöglichen verschiedene Positionen des Werkstückhalters.

Eine Zeichnung des Aufbaus befindet sich im Anhang.

Computer

Der Computer bildet das „Zentrum“ der Anlage. Er steuert den Schrittmotor über die Leistungsendstufe und wertet gleichzeitig die eingehenden Signale der Wägezelle aus. Somit wird ein Regelkreis zwischen Schrittmotor, Werkzeug, Werkstück, Wägezelle und Computer aufgebaut, welcher über entsprechende Software modelliert werden kann.

Die Maschine ist nicht an ein bestimmtes Computersystem gebunden, in diesem Fall kommt ein PC mit einem Mainbord der Firma ASUS[®] und einem AMD[®] K2/300 Prozessor zum Einsatz. Das System weist somit eine Taktfrequenz von 300 MHz auf, der Systemspeicher beträgt 64MB.

Software

Win nt 4.0[®]

Als Betriebssystem wurde Windows[®] NT 4.0 Servicepack 6 installiert.

LabView[®]

Der im weiteren beschriebene Regelkreislauf benötigt ein aufwendiges Steuerprogramm, welches alle Daten zu erfassen vermag und gleichzeitig den Schrittmotor steuern kann.

LabView[®], die graphische Programmiersprache, zählt neben den konventionellen Programmiersprachen C und C++ zu den meistverwendeten Sprachen für technisch-wissenschaftliche Anwendungen. LabView[®] kann als flexibles Messwerterfassungs- und Analysesystem auf allen gängigen Computersystemen eingesetzt werden. In der Industrie und in der Forschung und Entwicklung gilt LabView[®] mittlerweile als De-facto-Standard für die Meß- und Automatisierungstechnik. Es ermöglicht nach graphischer Programmierung die Steuerung der Anlage über ein virtuelles Bedienpult.

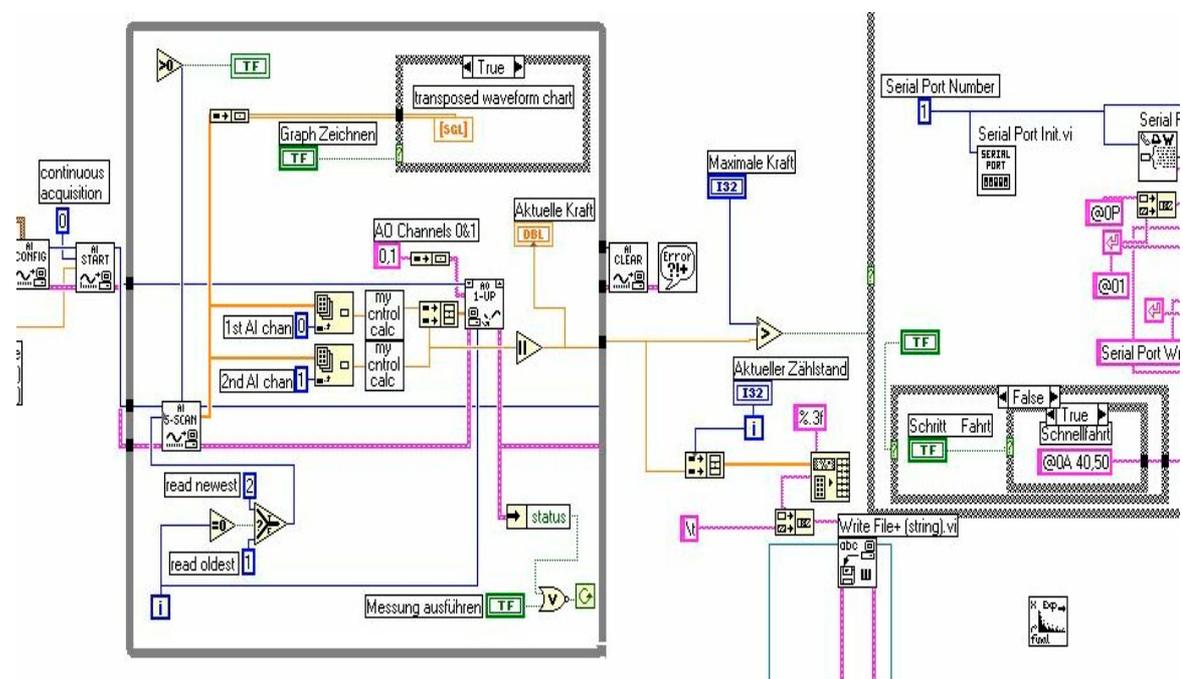


Abb.4: „Screenshot“ aus der graphischen Programmierung mit LabView[®]

Dieses Bedienpult kann für jede Anwendung neu generiert werden. Es wurde für diesen Versuchsaufbau ein Design wie auf der folgenden Seite dargestellt gewählt.

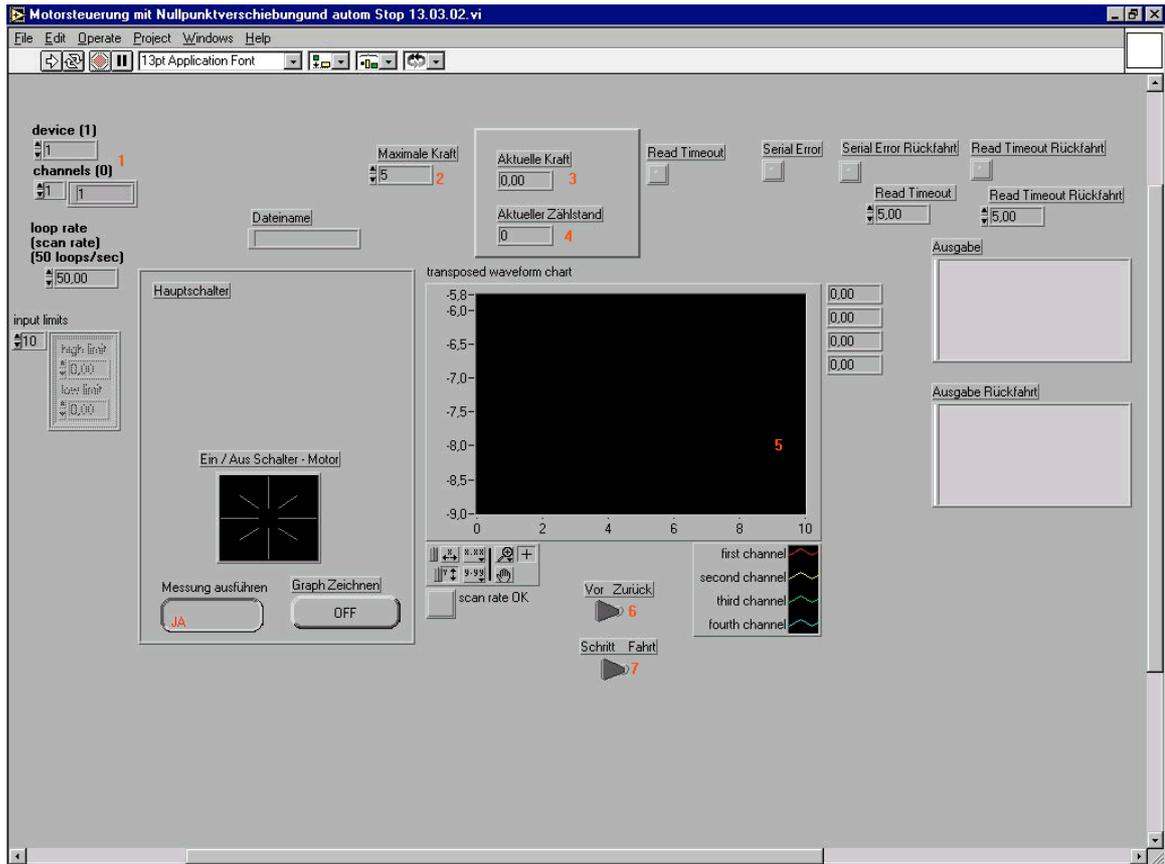


Abb.5: „Screenshot“ des virtuellen Bedienpultes von LabView®

Am Punkt 1 können Einstellungen zur verwendeten Karte und den verwendeten Ports gemacht werden. Die Anzeige 3 gibt Aufschluß über die aktuelle Belastung in Volt, die auf den Polierer wirkt, 4 zeigt die zu diesem Zeitpunkt durchlaufenden Schleifen des Schrittmotors. Mit Angabe der maximalen Belastung an 2 wird die Obergrenze der Belastung des Polierers festgelegt. Ein Überschreiten des Wertes führt zum Abbruch der Messung. Mit dem Schalter 6 kann zwischen einer Vor- und Rückwärtsbewegung des Werkzeugs gewählt werden, der Schalter 7 kann zum schnellen Hin- bzw. Wegfahren des Werkzeugs betätigt werden. Die Standarteinstellung zum Messen ist vor und langsam. Des weiteren kann auch schon während des Versuches eine graphische Darstellung in 5 erfolgen.

Die Schalter Motor und Messung sind zur Messung zu betätigen.

Die multiplen Möglichkeiten, die durch LabView® bereitgestellt werden, ermöglichen zusätzlich, die Daten nicht nur auf dem Bildschirm anzuzeigen sondern auch in einer Datei zu protokollieren. Die Form der Aufzeichnung ermöglicht eine sehr gute Dokumentation aller durchgeführten Messungen.

2.3.3 Kalibrierung

Die Kalibrierung der Wägezelle ist notwendig, um einen Bezug der ausgegebenen Meßwerte in V zur realen Belastung herzustellen. Zur Kalibrierung wird die Wägezelle mit normierten Gewichten belastet. Diese Belastung wird von der Wägezelle registriert und als Wert an den Computer ausgegeben. Die ausgegebenen Werte werden notiert und eine Meßkurve erstellt. Da im angewendeten Meßbereich eine lineare Abhängigkeit besteht, kann ein Faktor (0,4) bestimmt werden, der die Relation zwischen Meßwert und Belastung bestimmt.

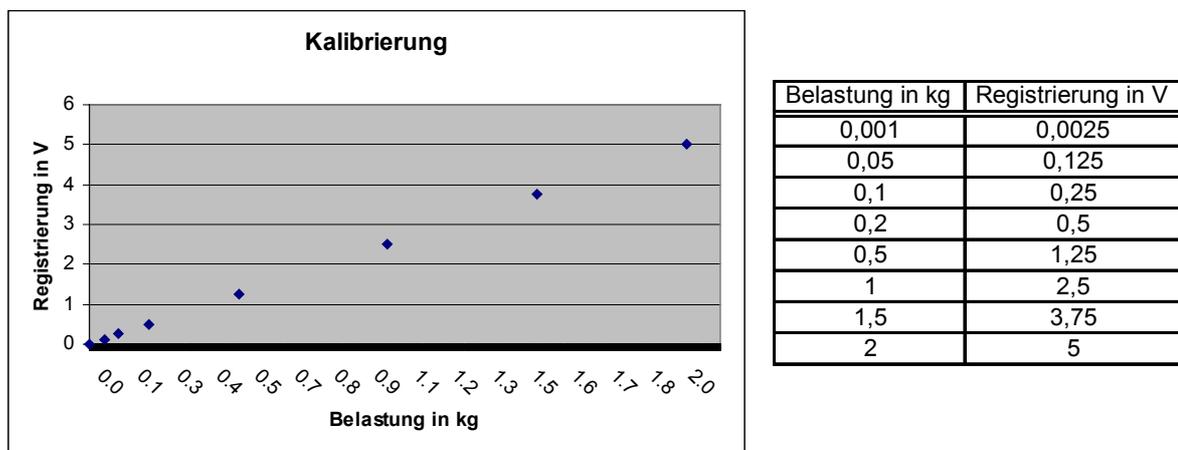


Abb.6: Kalibrierung; Messdaten und graphische Darstellung

2.3.4 Ablauf einer Messung

Der zu messende Gummipolierer wird in die Spannvorrichtung eingelegt und mittels einer Rändelschraube eindeutig fixiert. Die horizontale Position des Polierkörpers wird durch einen verstellbaren Anschlag festgelegt.

Auf dem virtuellen Bedienpanel von LabView[®] wird nun die maximale Belastung des Polierers festgelegt und die oben beschriebene Softwareschleife gestartet.

Dem Schrittmotor wird per Software ein Fahrbefehl über 5 Schritte erteilt. Dieser Fahrbefehl (Zyklus) wird solange wiederholt, bis eine Überschreitung der maximalen Last einen Abbruch der Messung erzwingt. Die Ausgabe der Fahrbefehle erfolgt in so schneller Abfolge, daß es zu einer kontinuierlich langsamen, vertikalen Relativbewegung des Werkzeugs zum Gummipolierer hin kommt.

Es erfolgt nach einigen Millimetern der Kontakt von Werkzeug und Polierer, die Verformung des Polierkörpers beginnt. Die Wägezelle registriert kontinuierlich die Belastung, die das Werkzeug auf den Polierer ausübt. Die Nummer des Zyklus, die als

Ortskoordinate betrachtet werden kann, und die zu diesem Ortspunkt festgestellte Kraftwirkung auf die Wägezelle wird in einer Datei protokolliert und für die weitere Verarbeitung als Zahlenpaar festgehalten.

Bei Erreichen der Maximalbelastung, die individuell in LabView® festgelegt worden ist, fährt das Werkzeug in seine Ausgangsposition zurück, das Protokoll wird beendet.

2.3.5 Verarbeitung der aufgenommenen Daten

Die protokollierten Zahlenpaare bestehend aus der absoluten Zahl des Zyklus (Ortskoordinate) und der an dieser Stelle vorliegenden Kraftwirkung können nun mit Hilfe von Microsoft Excel® aufgearbeitet werden.

Es erfolgt die Umwandlung der relativen Ortskoordinaten in absolute, vergleichbare Zahlen, somit zuerst die manuelle Verschiebung des Nullpunktes vom Beginn der Messung an den Beginn der Verformung des Polierkörpers.

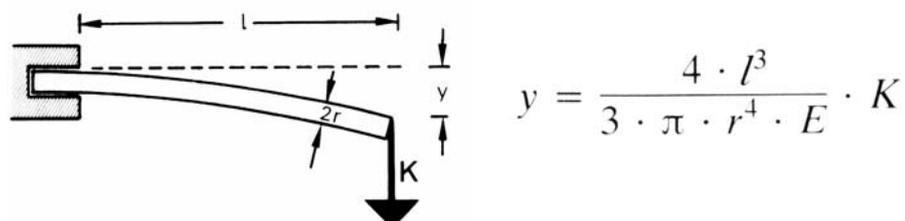
Die Wägezelle wurde in der Einrichtung des Regelkreises mit entsprechenden Normgewichten kalibriert. Somit kann jeder protokollierte Wert in Volt in die physikalische Größe Kilogramm umgerechnet werden. Hierbei beträgt der durch die vorherige Kalibrierung ermittelte Umrechnungsfaktor 0,4.

In einem zweiten Schritt erfolgt die Umwandlung des ausgegebenen Belastungswertes in Newton als Ausdruck der Kraftwirkung. Hierzu wird der Wert in kg mit 9,81 multipliziert.

Eine wichtige mechanische Eigenschaft eines Werkstoffes besteht in der Reaktion auf eine Kraft. Eine mechanische Belastung bedingt immer eine Verformung des belasteten Gegenstandes, die elastisch, aber auch plastisch sein kann [1]. Für den Bereich der rein elastischen Verformung kann das Hook'sche Gesetz zum Ansatz gebracht werden.

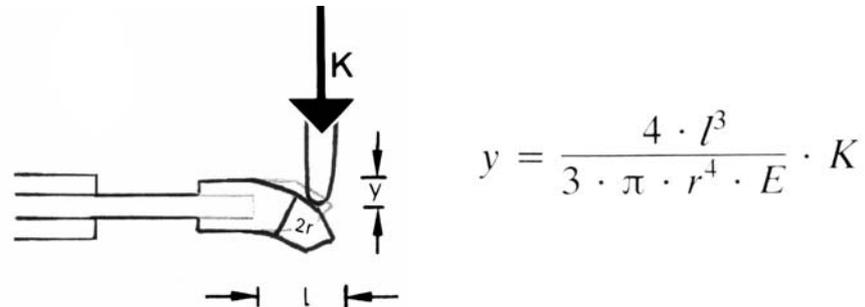
$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Die Belastung des Gummipolierers lässt sich jedoch am einfachsten mit der eines einseitig eingespannten Stabes der Länge l vergleichen, an dessen freiem Ende die Kraft K angreift. Für die elastische Auslenkung y gilt bei einem runden Stab (Zeichnung und Formel nach Marxkors 1993):



$$y = \frac{4 \cdot l^3}{3 \cdot \pi \cdot r^4 \cdot E} \cdot K$$

Diese Gleichung kann auch auf den hier entwickelten Versuchsaufbau angewendet werden. Auch hier wird ein runder Stab (Gummipolierer) verformt, der einseitig eingespannt ist.



Die Formel kann nun nach E umgestellt werden.

$$E = \frac{4 \cdot l^3}{3 \cdot \pi \cdot r^4 \cdot y} \cdot K$$

Da K nicht das Formelzeichen der Kraft ist wird es durch F ersetzt, y als Weg durch die korrekte Bezeichnung s.

$$E = \frac{4 \cdot l^3 \cdot F}{3 \cdot \pi \cdot r^4 \cdot s}$$

Eine Verformung des Gummipolierers in seinem elastischen Bereich verhält sich nicht vollständig analog eines runden Metallstabes. Sie steigt nicht rein linear mit der aufgewendeten Kraft an, sondern leicht exponentiell. Hier ist einmal beispielhaft die aufgenommene Kurve eines beliebigen Polierers vor dem Sterilisieren.

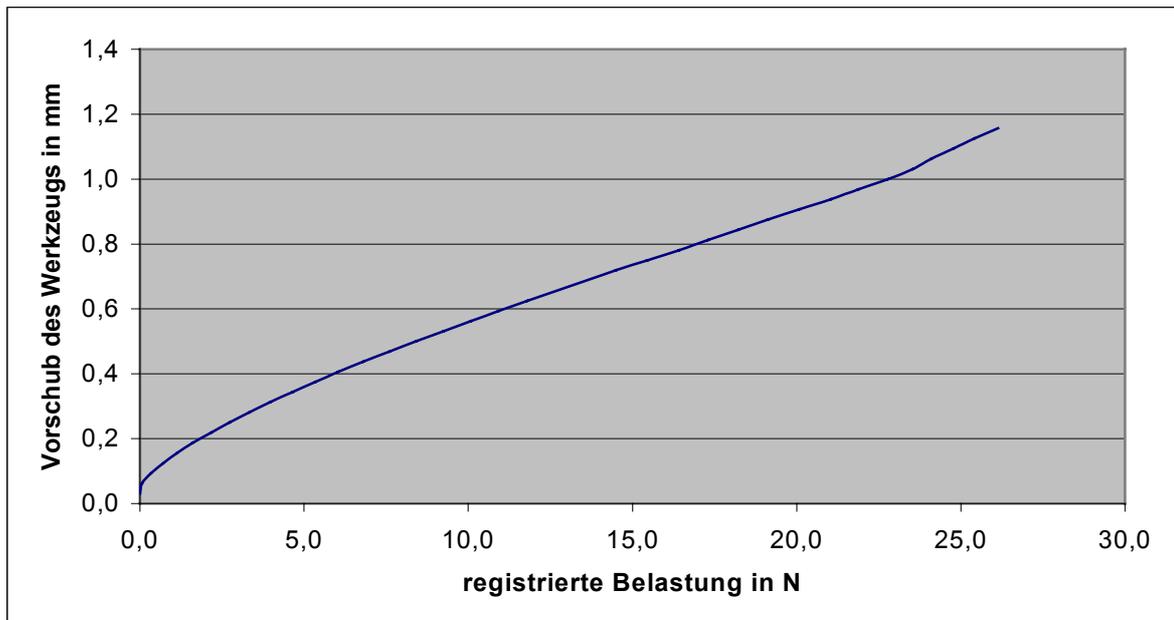


Abb.7: Spannungs-Dehnungs-Diagramm eines beliebigen Polierers

Um diese leichte Exponentialfunktion auszugleichen und bei allen gemessenen Gummipolierern vergleichbare Aussagen machen zu können, wurde ein Standard bei der Auswertung festgelegt.

Der praktisch tätige Zahnarzt wendet zum Polieren einen Anpressdruck von durchschnittlich 0,2 – 7 N (entspricht 20-700 g) an [Schwickerath 1997].

Um die Auswertung bei einer großen Anzahl von Polierern zu erleichtern, wird der Abschnitt der Betrachtung über den Vorschub des Werkzeugs definiert. Somit wird die Verformung vom 3. bis zum 20. Zyklus betrachtet, und im folgenden die Differenzen ($\Delta F; \Delta s$) ausgewertet.

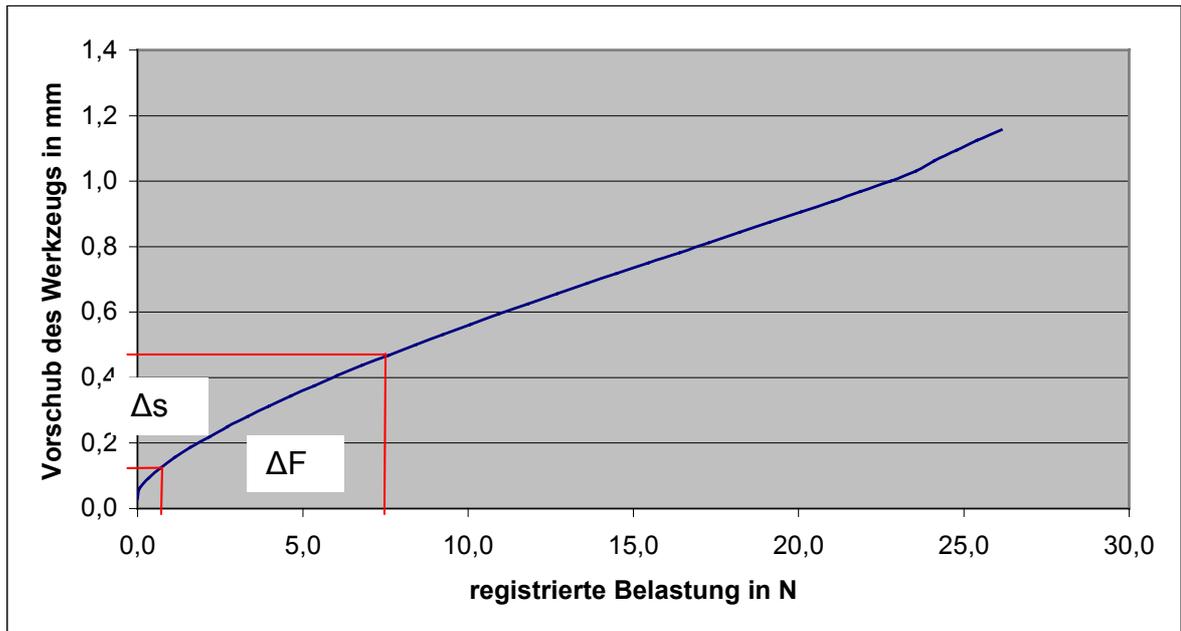


Abb.8: Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit eingezeichneten Differenzen

Die Formel kann nun auf die Situation angepasst

$$E = \frac{4 \cdot l^3 \cdot \Delta F}{3 \cdot \pi \cdot r^4 \cdot \Delta s}$$

und in Microsoft Excel[®] eingebunden werden.

Die Werte für die verformbare Länge l und den Radius r werden zu Beginn jeder Messreihe bestimmt und in Microsoft Excel[®] hinterlegt.

Δs ergibt sich aus dem definierten Vorschub zwischen dem 3. und 20. Zyklus.

Ein Zyklus besteht aus 5 Einzelschritten des Motors. Ein Schritt entspricht einer Drehbewegung des Schrittmotors um $0,9^\circ$, 5 Schritte entsprechen somit $4,5^\circ$. Eine komplette Drehung (360°) der Spindel des Linearvorschubes entspricht einer Vorschubbewegung von 2,5 mm, somit führt der einmalige Fahrbefehl (1 Zyklus) an den Schrittmotor einem Vorschub von 0,03125 mm. Der Vorschub vom 3. bis zum 20. Zyklus (Δs) entspricht also 0,4688 mm.

ΔF ergibt sich aus der Umrechnung der Meßwerte der Wägezelle. Hierbei wird der registrierte Wert in V mit dem Faktor 0,4 (Kalibrierung) multipliziert. Diese Belastung in kg kann nun durch die Multiplikation mit 9,81 in N umgewandelt werden.

Das E-Modul wird in der Einheit N/mm^2 ausgegeben.

2.4 Durchführung

2.4.1 Ermittlung der Präzision der Maschine

Dieser Vortest soll die Genauigkeit der Maschine ermitteln. Technisch betrachtet kann der Kugelgewindevorschub eine einmal eingenommene Position auf 0,001 mm genau wieder ansteuern.

Doch in dem Versuchsaufbau wirken sehr viele komplexe Bauteile zusammen. Dieses Zusammenspiel bringt jedoch eine gewisse Ungenauigkeit, die mit der Anzahl der Einzelteile wächst und technisch bedingt ist.

Die größte Ungenauigkeit wird durch die Positionierung des Polierers in der Maschine hervorgerufen. Wird dieser nur um 1/10 mm verändert eingespannt, so unterscheiden sich die erhobenen Messdaten enorm.

Um die Gesamtungenauigkeit zu ermitteln, wird in diesem Vorversuch ein und derselbe Polierer neun Mal nacheinander in die Maschine eingespannt und sein elastisches Verhalten bestimmt. Nach jeder Messung wird der Polierer aus der Spannvorrichtung entfernt. Der Abstand zwischen den Messungen beträgt jeweils fünfzehn min, um Abweichungen aufgrund elastischer Rückstellung in den ersten Minuten auszuschließen. Die Messdaten werden wie oben beschrieben in eine Microsoft Excel[®] Tabelle übertragen und ein E-Modul errechnet. Es wird ein Mittelwert über alle neun Messungen gebildet und die Abweichung der einzelnen Messungen zu diesem Mittelwert in % bestimmt.

Das Ergebnis gibt Aufschluss über die Genauigkeit der zukünftigen Messergebnisse, die mit Hilfe dieses Versuchsaufbaus ermittelt werden.

2.4.2 Hauptversuch

Die Auswahl der Gummipolierer erfolgt nach den im nächsten Kapitel beschriebenen Gesichtspunkten. Um eine möglichst breit gefächerte Aussage der am Markt vertretenen Gummipolierer geben zu können, wird die Anzahl der zu messenden Polierer auf fünf eingeschränkt.

Die Polierer werden in Gruppen in eine speziell für diesen Versuch abgeänderte Steribox der Firma VDW Antaeos eingeordnet. Diese Anordnung wird in einem Protokoll festgehalten. Nun erfolgt die erste Messung jedes Polierkörpers wie oben beschrieben. Alle Daten werden in die Microsoft Excel[®]-Tabelle eingefügt. Diese zeigt die jeweiligen E-Module an. Kann man hier starke Abweichungen innerhalb einer Gruppe erkennen, wird der betreffende Polierer einer zweiten Messung unterzogen. Nach erfolgreicher Messung wird die Steribox versiegelt und die Sterilisation durchgeführt.

Die Sterilisation erfolgte im Autoklav Typ 24EPS der Firma Melag bei 134°C und 2 bar. Die elektronische Parametersteuerung EPS überwacht ständig Druck, Temperatur und Zeit. Fehler können so registriert werden, sind jedoch während der Versuche nicht aufgetreten. Das Erreichen der Arbeitstemperatur wurde zusätzlich über Indikatorstreifen kontrolliert und protokolliert. Der Autoklav wird in unserer Abteilung standardmäßig eingesetzt. Eine regelmäßige technische und mikrobiologische Überprüfung sichert die regelrechte Funktion.

Nach fünf Durchgängen wird die Steribox geöffnet und jeder Polierer wiederholt gemessen. Die Box wird hiernach erneut versiegelt und wieder sterilisiert. Nach weiteren fünf Sterilisationsdurchgängen erfolgt eine letzte Messung.

Alle Daten werden in die vorbereitete Tabelle von Microsoft Excel[®] eingefügt. Die errechneten E-Module werden nun mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS[®] ausgewertet.



Abb.9: Steribox der Firma VDW Antaeos

2.5 Statistische Auswertung

Die statistischen Berechnungen wurden mit Hilfe von SPSS® vorgenommen.

Die im SPSS® erstellte Tabelle enthält in Zeilen die verschiedenen Polierer einer Gruppe, die Spalten definieren die dazugehörigen E-Module. Die Daten wurden dazu direkt per „drag and drop“ aus den Microsoft Excel®-Tabellen entnommen, in denen die Daten vorher ausgewertet wurden.

Aus diesem Grund ist die Datenmenge verhältnismäßig klein. Eine Gruppe von gleichen Polierern wird durch nur drei mal fünf Meßwerte definiert. Sie ergibt sich aus den Elastizitätswerten der fünf Polierer vor, nach fünf und nach zehn Sterilisationsvorgängen. Somit ist die statistische Aussage unter bestimmten Umständen eingeschränkt.

Die Prüfung der Datenmenge auf Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Test und explorativer Datenanalyse ist zwar rechnerisch möglich, die Ergebnisse sind jedoch aufgrund der geringen Anzahl der Messdaten nicht aussagekräftig und werden hier nicht angeführt.

Der T-Test bei gepaarten Stichproben erweist sich als sehr robust gegenüber geringen Abweichungen in der Normalverteilung und liefert zuverlässige Aussagen über die Unterschiede der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten. Durch das Design der Studie mit Messungen nach fünf und zehn Sterilisationsvorgängen ist eine Unterteilung der Polierer nach dem Zeitpunkt der Veränderung möglich.

Eine Untersuchung der Daten des T-Testes durch die Bonferoni- Korrektur ergibt eine noch sicherere Aussage, ob Veränderungen stattgefunden haben, jedoch nur in der Gesamtheit betrachtet. Eine Aufschlüsselung, wann die Veränderung erfolgt ist, kann nicht gemacht werden.

3 Ergebnisse

3.1 Vortest

Das Ergebnis der Präzisionsbestimmung der Maschine ist in folgender Tabelle dargestellt.

Tab.2: Ergebnisse des Vortestes

Messung	eins	zwei	drei	vier	fünf	sechs	sieben	acht	neun	Mittelwert
E-Modul in N/mm ²	14.23	14.71	14.27	15.05	14.86	14.53	14.61	14.44	14.50	14.58
Abweichung vom Mittelwert in %	-2.36	0.92	-2.12	3.26	1.93	-0.33	0.22	-0.95	-0.56	

Die Messergebnisse aller neun Versuche sind sehr homogen und weichen maximal um 3,26 % vom Mittelwert ab.

3.2 Hauptversuch

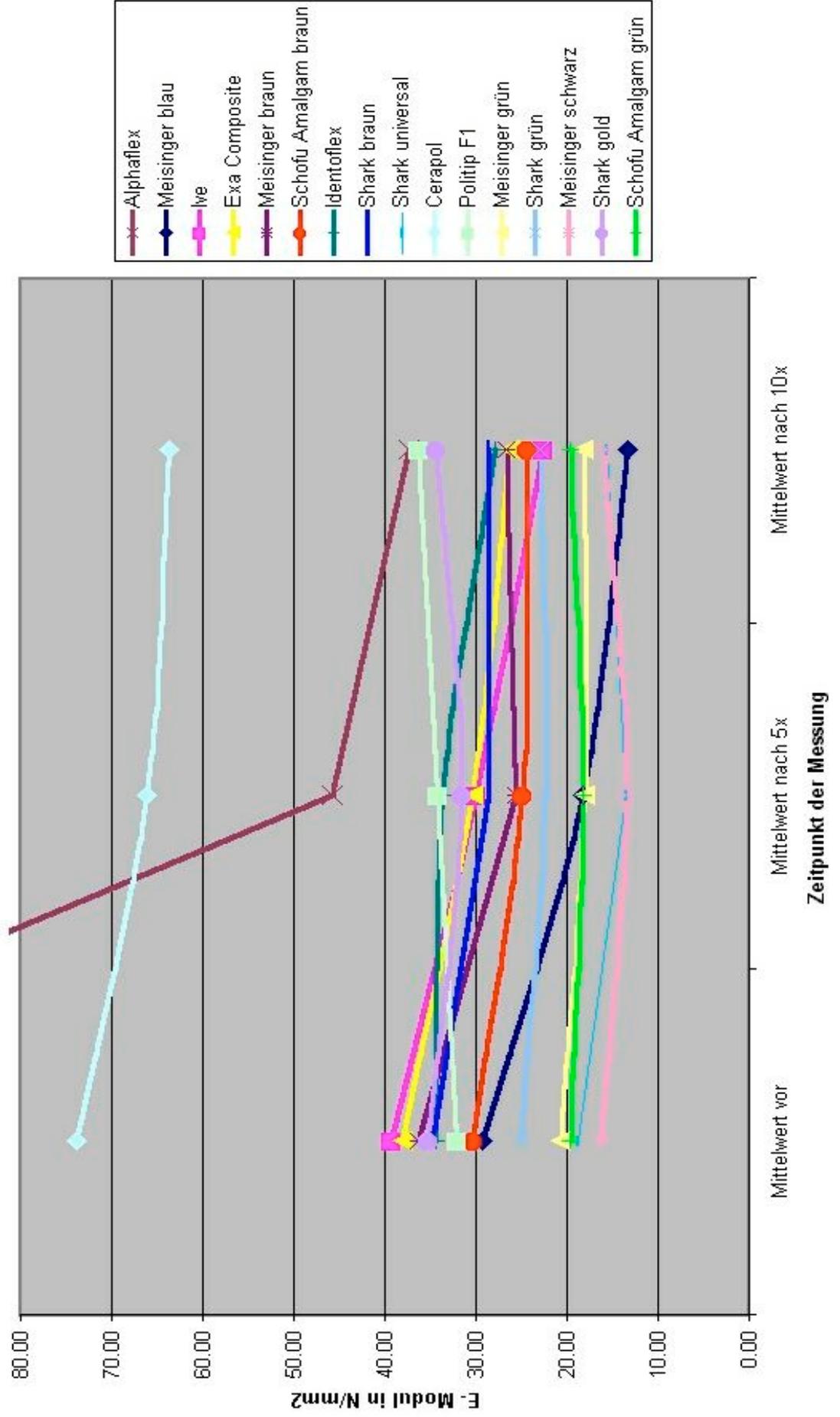
Bei allen Polieren treten durch den Sterilisationsvorgang Veränderungen im E-Modul auf. Die Stärke und der Zeitpunkt der Veränderungen sind sehr unterschiedlich. Während bei einigen Polierern wie Alphaflex eine Abnahme des E-Moduls um insgesamt 72 % zu beobachten ist, führt die Sterilisation bei anderen wie Politip F1 nur zu einer Abnahme des E-Moduls um 13 %.

Der E-Modul kann durch die Sterilisation ab oder zunehmen. Bis auf eine Ausnahme ist eine Abnahme des E-Moduls zu beobachten.

Sieben der fünfzehn Polierer verhalten sich „paradox“. Der E-Modul nimmt während der ersten fünf Sterilisationsvorgänge ab, dann während der nächsten fünf wieder zu.

Nachstehendes Diagramm gibt einen graphischen Überblick über die E-Module zu den drei Messzeitpunkten.

E- Module zu den drei Zeitpunkten



Die Daten, die das oben stehende Diagramm begründen, sind im folgenden dargestellt. Es erfolgte eine Sortierung nach der Größe der Veränderungen, die nach der fünften Sterilisation aufgetreten sind. In der Tabelle bezeichnet 0 die Messung vor der Sterilisation, 5 den Zeitpunkt nach fünf und 10 den Zeitpunkt nach zehn Sterilisationen.

Tab.3: Abweichung der Messergebnisse zum Ausgangswert zu den verschiedenen Messzeitpunkten

Polierer	Abweichung 0-5 in %	Abweichung 5-10 in %	Abweichung 0-10 in %
Alphaflex	-66.4	-18.2	-72.5
Meisinger „blau“	-37.5	-26.5	-54.1
Meisinger „braun“	-29.7	4.6	-26.5
Shark „universal“	-27.9	15.4	-16.8
Ive	-23.7	-24.2	-42.2
Exa Composite	-20.1	-13.7	-31.0
Shofu „Amalgam braun“	-18.0	-1.9	-19.5
Shark „braun“	-17.9	-0.1	-18.0
Meisinger „schwarz“	-16.7	17.1	-2.5
Meisinger „grün“	-12.4	1.4	-11.2
Shark „grün“	-10.7	2.5	-8.5
Cerapol	-10.2	-3.9	-13.8
Shark „gold“	-10.1	8.7	-2.3
Shofu „Amalgam grün“	-7.3	8.1	0.2
Identoflex	-2.1	-17.2	-18.9
Politip F1	6.2	6.4	13.0

Um die Veränderungen optisch erfassen zu können, wurde die Veränderung des E-Moduls als absoluter Wert mit der einfachen Standardabweichung in einem Balkendiagramm dargestellt. Der Balken von Alphaflex ist aufgrund der sehr großen Veränderung und zur verbesserten Auflösung der restlichen Daten verkürzt dargestellt.

Diagramm 1: Abweichung vom Ausgangswert nach 5x Sterilisieren in %

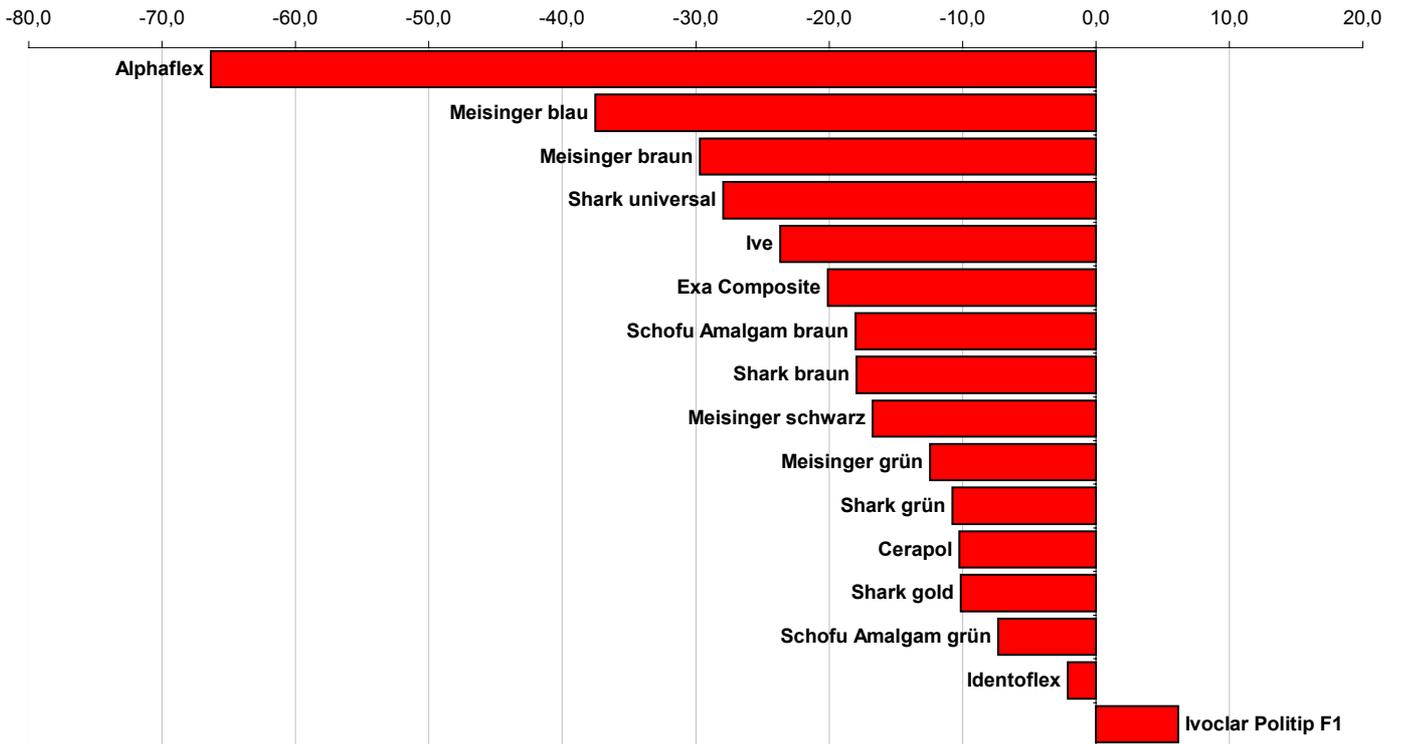
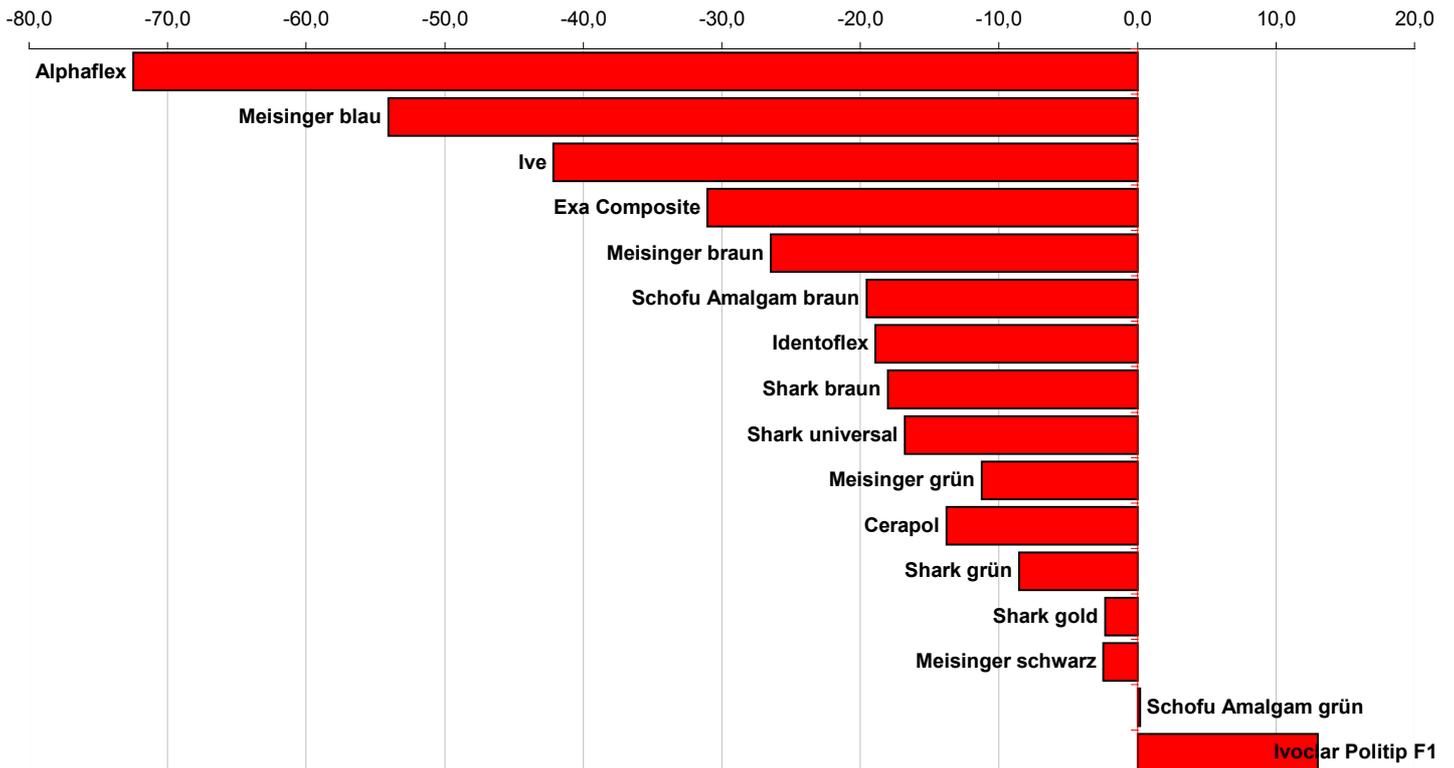


Diagramm 2: Abweichung vom Ausgangswert nach 10x Sterilisieren in %



Die Veränderungen, welche die Polierer durch die Sterilisation erfahren, sind keineswegs in jeder Gruppe gleich. Während Polierer wie Alphaflex eine sehr starke Veränderung im E-Modul aufweist, reagieren andere wie z.B. Shofu Amalgam grün kaum.

Alle Daten wurden mit einem T-Test überprüft dessen Ergebnisse in der nachfolgenden Tabelle dargestellt sind. Die erste Spalte beurteilt die Werte des Vergleichs vor und nach fünf Sterilisationsvorgängen, die zweite Spalte geht auf die Daten des Vergleiches der Messungen zwischen der fünften und zehnten Sterilisation, die dritte vergleicht die Daten vorher mit denen nach zehn Sterilisationen.

Tab.4: Statistische Auswertung der Messergebnisse

Polierer	p-Werte vor-nach 5x	p-Werte nach 5x-nach 10x	p-Werte Vor-nach 10x
Alphaflex	***	***	***
Cerapol	***	*	***
Exa Composite	*	**	**
Identoflex	-	***	**
Ive	***	***	***
Meisinger blau	***	*	**
Meisinger braun	***	-	**
Meisinger grün	*	-	*
Meisinger schwarz	***	***	-
Politip F1	*	-	*
Shofu Amalgam braun	***	-	***
Shofu Amlagam grün	-	*	-
Shark braun	***	-	***
Shark Technik gold	***	*	-
Shark grün	***	-	*
Shark universal	***	***	***

Legende: - $p > 0,05$
 * $p \leq 0,05$
 ** $p \leq 0,005$
 *** $p \leq 0,001$

Nach fünf Sterilisationen sind an den Polierern Exa Composite, Meisinger grün und Politip F1 signifikante Veränderungen ($p \leq 0,05$) im E-Modul aufgetreten. Bei den Polierern Alphaflex, Cerapol, Ive, Meisinger blau, Meisinger braun, Shofu Amalgam braun, Meisinger schwarz, Shark braun Shark Technik gold, Shark grün und Shark universal sind diese Veränderungen höchst signifikant ($p \leq 0,001$).

Innerhalb der nächsten fünf Sterilisationsvorgänge ändert sich das E-Modul bei Cerapol, Shofu Amalgam grün und Shark Technik gold signifikant ($p \leq 0,05$), bei Exa Composite hoch signifikant ($p \leq 0,005$) und bei Alphaflex, Identoflex, Ive, Meisinger schwarz und Shark universal höchst signifikant ($p \leq 0,001$).

Beim Studium der Tabelle wird ein Kuriosum augenfällig. Die Elastizität des Polierers Meisinger schwarz ändert sich zu beiden Messungen (vor-fünf; fünf-zehn) höchst signifikant ($p \leq 0,001$), der Vergleich vorher und nach zehn Sterilisationen jedoch ist nicht signifikant. Die Erklärung hierfür ist einfach. Das E-Modul fällt in den ersten fünf Sterilisationen ab, nimmt dann wieder zu. Somit sind Ausgangswert und Endwert nicht voneinander verschieden, es fanden dennoch starke Veränderungen statt.

Die Bonferoni- Korrektur auf diesen T-Test angewendet, zeigt eine signifikante Veränderung der Elastizität bei Alphaflex, Cerapol, Exa Composite, Identoflex, Ive, Meisinger blau, Meisinger braun, Shofu Amalgam braun, Meisinger schwarz, Shark braun, Shark gold, Shark grün und Shark universal an.

Meisinger grün, Politip F1 und Shofu Amalgam grün verändern sich nach diesem strengen Test nicht signifikant.

4 Diskussion

4.1 Methode

4.1.1 Versuchsaufbau

Mit dem vorliegenden Versuchsaufbau ist es gelungen, die im Vorfeld definierten Anforderungen zu erfüllen.

Die Konstruktion zeichnet sich durch eine sehr hohe mechanische Stabilität aus und ist durch den modularen Aufbau und die Verwendung industriell gefertigten Einzelteilen jederzeit erweiterbar. Die Verwendung von Schienen sichert die Verstellbarkeit und somit die Anpassung an andere Versuchsaufbauten. Unbegrenzte Programmiermöglichkeiten für Ablauf und Steuerung des verwendeten Programms LabView® ermöglichen jederzeit andere Parameter zu bestimmen. Die automatische Erstellung der vollautomatisch erfassten Daten in eine Protokolldatei erweist sich im Umgang als sehr hilfreich.

Der vorliegende Versuchsaufbau kostete durch die konsequente Konstruktion und Verwendung von anspruchsgerechten Bauteilen nur ein Bruchteil dessen, was kommerzielle Anbieter veranschlagen und sichert dennoch ein breites Anwendungsspektrum abzudecken.

Die Abweichung der Messwerte von maximal 3,26% vom Mittelwert aller Messungen innerhalb eines Vorversuches ordnet sich in die Ergebnisse bestehender Systeme ein.

LabView® als Steuerprogramm stellt dem Anwender eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Verfügung, die jedoch alle vor ihrem Einsatz aufwendig programmiert und eingestellt werden müssen. Die Wegauflösung des Systems ist mit 0,00625 mm unter dem anderer Systeme (Zwick Z005/TS1S: 0,0502 μm), reicht jedoch für die meisten Anforderungen vollständig aus.

4.1.2 Wertigkeit der Ergebnisse

Alle untersuchten Gummipolierer erfuhren durch die Sterilisation eine Änderung ihrer Materialeigenschaften. Diese Vermutung bestand bereits im Vorfeld der Untersuchungen, jedoch konnte das Ausmaß nicht in Zahlenwerten angegeben werden. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die von vielen Behandlern subjektiv bemerkten Veränderungen der Polierer. Es zeigt sich eine Veränderung des E-Moduls durch die Sterilisation, die eine subjektive Verschlechterung der Poliereigenschaften der Gummipolierer begründen könnte.

Die Sterilisation erfolgte in dem Autoklaven Typ 24EPS der Firma Melag. Diese Bauart wird häufig in Zahnarztpraxen verwendet und kann als Standard angesehen werden. Eine Sterilisation mit einem anderen System kann aufgrund eines anderen Temperaturverlaufes Einfluß auf die Ergebnisse haben.

Die Verwendung der Steribox der Firma VDW Antaeos stellt ebenfalls eine weitverbreitete, anerkannte Möglichkeit der Verpackung von rotierenden Instrumenten während und nach der Sterilisation dar. Hierbei durchströmt die Hitze den Behälter durch Öffnungen im Boden. Würden die Polierer auf eine andere Art als die beschriebene verpackt, z.B. eingeschweißt, kann das entscheidende Auswirkungen auf das Ergebnis haben.

Die Messungen erfolgten in oben beschriebenen Versuchsaufbau. Die Genauigkeit der Messergebnisse wurde im Vorfeld bestimmt und kann mit max. 3,26 % Abweichung vom Mittelwert angegeben werden. Hierbei hat die Positionierung des Polierers entscheidenden Einfluß auf das Messergebnis.

4.2 Ergebnisse

Die Erfüllung der Hygienerichtlinien in der Zahnarztpraxis macht eine Sterilisation von Gummipolierern unumgänglich, sollen diese mehrfach verwendet werden. Die Desinfektion, die in den Zahnarztpraxen oftmals angewendet wird, reduziert zwar die Keimzahl, kann aber keine Keimfreiheit garantieren. Die Hersteller der Polierer geben eine generelle Freigabe zur Sterilisation, dennoch scheuen sich viele Zahnärzte, diese auch durchzuführen. Zu oft haben sich subjektiv die Eigenschaften der Polierer verändert. Sorgfältig zusammengestellte Polierer wurden auf ihre Sterilisierbarkeit untersucht. Sie repräsentieren einen Querschnitt der in der Praxis verwendeten Poliererarten und Hersteller. Es wurde auf ähnliche Konfigurationen der Polierer geachtet, um Vergleiche herstellen zu können.

Die Veränderungen, die von vielen Zahnärzten vermutet werden, bestehen hauptsächlich in einer Änderung der Elastizität. Diese hat entscheidenden Einfluss auf die Poliereigenschaften und stellt deshalb das Zentrum der Betrachtungen dar.

Um diese Veränderungen optimal bestimmen zu können, sollte ein geeigneter Versuchsaufbau entwickelt werden. Ähnliche Maschinen sind zwar im Handel erhältlich, kosten jedoch ein Mehrfaches und sind für andere Forschungszwecke nur eingeschränkt verwendbar. Eine eigene Entwicklung konnte so Kosten sparen und eine sehr breite Verwendungsmöglichkeit sicherstellen.

Um eine möglichst praxisnahe Untersuchung durchzuführen, wurden die Polierer in dem Autoklaven Typ 24EPS der Firma Melag sterilisiert. Dieses Gerät sterilisiert nach einem festen Verfahren bei 134°C und 2 bar.

Um Instrumente optimal sterilisieren zu können, bietet sich eine mechanisch feste Anordnung der Polierer während des Sterilisationsvorganges an. In der Praxis wird diese sehr oft mit Hilfe einer Box der Firma VDW Antaeos sichergestellt. Diese Box wird auch in den vorliegenden Versuchen angewendet.

Wie oft ein Gummipolierer bis zum vollständigen Verschleiß benutzt werden kann, hängt von vielen Faktoren ab und ist wissenschaftlich nicht gesichert. Nach eigenen Erfahrungen kann er bei normaler Belastung bis zu seiner Unbrauchbarkeit durchschnittlich sieben Mal benutzt werden, einige jedoch auch länger. Aus diesem Grund wurden willkürlich zehn Sterilisationsvorgänge als Betrachtungszeitraum gewählt. Die meisten Anwendungen werden dadurch sicher eingeschlossen.

Einige Zahnärzte favorisieren die Anwendung von sogenannten Tray-Systemen. Dabei werden alle Instrumente eines bestimmten Behandlungsschrittes in einer Aufbewahrungsbox bereitgehalten. Am Patienten wird dann die gesamte Box geöffnet. Auch wenn nur zwei Instrumente benutzt werden, wird das gesamte Tray vor der nächsten Anwendung sterilisiert. In diesem speziellen Fall werden die im Tray enthaltenen Polierer häufiger als zehn Mal sterilisiert. Da diese Methode jedoch noch nicht von vielen Zahnärzten angewandt wird, sind für die meisten Kollegen die Veränderungen während der ersten fünf bis zehn Sterilisationsvorgänge von Bedeutung.

Um eine bessere Aufschlüsselung des Zeitpunktes der möglichen Veränderungen geben zu können, wurde eine Messung nach fünf und eine nach zehn Sterilisationen durchgeführt.

Keiner der getesteten Polierer überstand die zehnmahlige Sterilisation ohne signifikante Veränderungen, jedoch traten bei Identoflex und Shofu Amlagam grün diese Veränderungen erst zwischen dem fünften und zehnten Sterilisationsvorgang auf.

Die Veränderungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Eigenschaften des Polierers. Den makroskopischen Veränderungen wie Abweichungen vom Elastizitätsmodul liegen mikrostrukturelle Veränderungen zugrunde. Um ein Verständnis für diese Veränderungen zu bekommen, sollte der chemische Aufbau der Polierer bekannt sein.

Alle Hersteller geben jedoch den genauen Aufbau und die Zusammensetzung der Grundmasse der Polierkörper aufgrund von Firmengeheimnissen nicht preis. Es steht aber fest, dass der Sterilisationsvorgang eine messbare Veränderung der silikonhaltigen Grundsubstanz verursacht. Die Poliereigenschaften sind sehr stark von den elastischen Eigenschaften der Grundsubstanz abhängig. Verändert sich diese, ist mit anderen Poliereigenschaften zu rechnen. In welchem Masse diese Veränderungen noch tolerabel sind, muss jeder Behandler für sich entscheiden.

Ein Studium der internationalen Literatur erbrachte keine Erkenntnis über ähnliche Studien. Somit können keine Vergleiche gezogen werden, bzw. Normgrößen erstellt werden.

5 Literaturverzeichnis

- 1 Bebermeyer R, Powell J, Hobdell M, Durban E: Dental practice implications of prion diseases. *Quintessence Int.* 34 (2003) 38-44
- 2 Borneff M: *Hygiene für Zahnmediziner.* Thieme Verlag Stuttgart (1994) 35-52
- 3 Deutscher Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnarztpraxis (Hrsg.): *Hygieneleitfaden.* 4. Auflage. DAHZ-Eigenverlag Norderstedt/Kiel (1999)
- 4 Eichner K: *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung,* 7. Auflage. Thieme Verlag Stuttgart New York (2000)
- 5 Eichner K: *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.* Bd.1. 5. Auflage. Hüthig Verlag Heidelberg (1988)
- 6 Eichner K: *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.* Bd. 2. 5. Auflage. Hüthig Verlag Heidelberg (1985)
- 7 Ernst S, Caesar H: *Die Nichtmetalle in der Zahntechnik.* 2. Auflage. Verlag Neuer Merkur GmbH München (1991)
- 8 Kimmel K: *Rotierende Instrumente für Klinik, Praxis und Labor.* Hager & Meisinger GmbH Düsseldorf (1977)
- 9 Kimmel K: *Kavitäten- und Kronenpräparationen mit rotierenden und ozzillierenden Instrumenten.* IIZAT-Leitfaden (1997) 41-47
- 10 Körber K, Ludwig K: *Zahnärztliche Werkstoffkunde und Terminologie.* 2. Auflage. Thieme Verlag Stuttgart New York (1993)
- 11 Lee SH, Chang YI.: Effects of recycling on the mechanical properties and the surface topography of nickel-titanium alloy wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* (2001) 654-63
- 12 Marxkors R, Meiners H: *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde.* 4. Auflage. Hansa Verlag (1993)
- 13 Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR, Fragalk I, Condorelli GG: The effect of surface treatments of nickel-titanium files on wear and cutting efficiency. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* (2000) 363-8
- 14 Schwenzer N, Ehrenfeld M: *Allgemeine Chirurgie.* Thieme Verlag (2000) 58-61
- 15 Schwickerath H: *Werkstoffe in der Zahnheilkunde,* Buch- und Zeitschriften-Verlag „Die Quintessenz“ Berlin Chicago Rio de Janeiro Tokio (1977)

- 16 Sutton J, Saunders WP: Effect of various irrigant and autoclaving regimes on the fracture resistance of rubber dam clamps. *Int Endod J.* (1996) 335-43
- 17 Stine R: Sterilizer monitoring: a vital component for infection control. *Tex Dent J.* (2003) 182-5
- 18 Thierry B, Tabrizian M, Savadogo O, Yahia L: Effects of sterilization processes on NiTi alloy: surface characterization. *J Biomed Mater Res.* (2000) 88-98

6 Anhang

6.1. *Herstellernachweis*

Buchs SG	=	Reccini, Legnano, Italien
Eve	=	Eve Ernst Vetter GmbH, Pforzheim, Deutschland
Edenta	=	Edenta AG, Au/SG, Schweiz
Ivoclar/Vivadent	=	Elwangen, Deutschland
Meisinger	=	Hager & Meisinger GmbH, Neuss, Deutschland
Shark Dental	=	Shark Dental GmbH, Dortmund, Deutschland
Shofu	=	Shofu Deutschland GmbH, Ratingen, Deutschland

Christian Wegner
Martinstr.12
06108 Halle
Zahnarzt

Halle, den


Sehr geehrter Kollege, sehr geehrte Kollegin,

Sicherlich haben Sie in Ihrem täglichen Umgang mit Gummipolierern bemerkt, das diese nach dem Sterilisieren Ihre Materialeigenschaften ändern. Die Hygienerichtlinien empfehlen jedoch eine Sterilisation, eine generelle Herstellerfreigabe liegt allen Produkten bei.

In diesem Spannungsfeld möchte ich eine Forschungsarbeit durchführen, welche die Sterilisierbarkeit von Gummipolierern belegt oder widerlegt. Im Vorfeld dieser Untersuchung benötige ich einige Informationen aus Ihrer Praxis, die selbstverständlich vertraulich behandelt werden und anonymisiert in die Studie einfließen.

Auf Ihre Mithilfe hoffend, verbleibe ich

Mit freundlichen Grüßen



Umfrage

1. Sind Ihnen die Hygienerichtlinien hinsichtlich der Gumipolierer bekannt?

Ja Nein

2. Welche Polierer verwenden Sie hauptsächlich?

Einwegpolierer Mehrwegpolierer

3. Wie bereiten Sie bei Mehrfachbenutzung die Polierer auf?

Desinfektion Sterilisation

4. Würden Sie die Erstellung einer Liste der sterilisierbaren Polierer begrüßen?

Ja Nein

Bitte kreuzen die entsprechenden Antworten an und faxen das Dokument an folgende Rufnummer:

FAX 0345/ 5573779

6.4 Beispielrechnung

durchschnittliche Anzahl von Gummipoliererbenutzungen während 8 Stunden	
Sprechzeit eines Behandlers unserer Klinik:	8
Polierer pro h	1,25
Anzahl bei 40 h (1 Arbeitswoche)	50
Anzahl bei 40 Arbeitswochen / Jahr	2000
durchschnittliche Benutzung eines Polierers bis zum endgültigen Verschleiß	7
durchschnittlicher Preis pro Polierer	ca. 4 €
Kosten Mehrfachverwendung (bei 7x Benutzung, ohne Sterilisationskosten)	ca.1142€
Kosten Einfachverwendung (Neukauf nach Benutzung)	ca.8000€

Mehrbelastung bei einmaliger Verwendung ca. 6857 €

7 Thesen

- 1 Die Politur der Oberfläche erhöht die Qualität der Restauration.
- 2 Gummipolierer sind rotierende Instrumente zur effektiven intra- und extraoralen Politur.
- 3 Es findet eine Keimübertragung von kontaminierten Oberflächen auf die Polierer statt.
- 4 Eine Aufbereitung der mehrfachbenutzten Polierer wird von führenden Gesellschaften gefordert.
- 5 Die Sterilisation stellt die verlässlichste Methode der Aufbereitung dar.
- 6 Viele Zahnärzte bereiten die verwendeten Polierer nicht oder nur unzureichend auf.
- 7 Die Poliereigenschaften sollen sich durch den Sterilisationsvorgang verschlechtern.
- 8 In der Literatur sind keine Untersuchungen zu diesem Thema zu finden, jedoch wird über Änderungen der Materialeigenschaften durch den Sterilisationsvorgang bei anderen Materialien der Zahnheilkunde berichtet.
- 9 Die genaue chemische Zusammensetzung von Gummipolierern wird von den Herstellern nicht preisgegeben.
- 10 Die Poliereigenschaften eines Gummipolierers sind stark von seinem E-Modul abhängig.
- 11 Eine geeignete Prüfmaschine zur Bestimmung des E-Moduls stand nicht zur Verfügung und mußte entwickelt und gebaut werden.
- 12 Die entwickelte Prüfmaschine liefert zuverlässige Ergebnisse.
- 13 Die Sterilisation von Gummipolierern führt zu einer individuellen Veränderung des E-Moduls.

Lebenslauf

Name	Wegner
Vorname	Christian
geboren am:	24.11.1976
geboren in:	Magdeburg
Familienstand:	ledig
Vater:	Dr. Hans-Dieter Wegner, geb. am 09.06.1948
Mutter:	Dr. Christine Gabriel, geb. Dill, geb. am 04.07.1951
Schwester:	Juliane Wegner, geb. am 25.08.1981
Schulbildung:	1983-1986 Oberschule Aikardi Gaidar, Magdeburg 1986-1989 Oberschule Hegel-Leibnitz, Magdeburg 1989-1995 Hegel-Gymnasium Magdeburg 1995 Abitur
Hochschulausbildung	1995-1998 Studium der Zahnmedizin an der Medizinischen Hochschule Hannover 1996 Vorphysikum 1998 Physikum 1998-2000 Studium der Zahnmedizin an der Martin-Luther- Universität Halle-Wittenberg 2000 Staatsexamen der Zahnmedizin
Berufliche Tätigkeit	seit 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Medizinischen Fakultät an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg in der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik seit 2002 zusätzliche Tätigkeit als Entlastungsassistent in einer Zahnärztlichen Praxis in Schönebeck

Halle, den 10.06.2004

Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt habe.

Halle, den 10.06.2004

Christian Wegner

Erklärung über frühere Promotionsversuche

Hiermit erkläre ich, dass ich diesen Antrag auf Eröffnung des Promotionsverfahrens der vorliegenden Arbeit erstmalig beim Dekan des wissenschaftlichen Rates der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg stelle und in der Vergangenheit auch an keiner anderen Universität gestellt habe.

Halle, den 10.06.2004

Christian Wegner

Danksagung

Meinen herzlichen Dank an:

Herrn Prof. Dr. med. dent. habil. Jürgen M. Setz für die Überlassung des Themas, die immer gewährte Unterstützung und die wertvollen Anregungen,

Herrn Christoph Bierstedt für die Unterstützung bei der Softwarekonfiguration,

meiner Verlobten Nadine Rusch für den nicht nachlassenden Ansporn und die Aufmunterung, stets weiter zu gehen,

meiner Familie für die stetige moralische Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit.