

**Aus der Universitätspoliklinik für Zahnärztliche Prothetik
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg**

(Direktor: Prof. Dr. med. dent. habil J. M. Setz)

Sektion Zahnärztliche Propädeutik

(Leiter: Prof. Dr. med. dent. habil K.-E. Dette)



**Untersuchungen zum Einfluß von Mikrowellenstrahlung und Druck
auf Härte und Expansion von Dentalgipsen**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Susanne Pieper

geb. am 29.8.1980 in Sangerhausen

Gutachter:

1. Prof. Dr. Dette

2. Prof. Dr. Welker (Jena)

01.04.2008

27.08.2008

urn:nbn:de:gbv:3-000014274

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000014274>]

Referat und bibliographische Beschreibung

Moderne Dentalgipse haben hinsichtlich der Werkstoffparameter Härte und Expansion einen hohen Qualitätsstandard erreicht. Dennoch gibt es Empfehlungen zu weiteren Verbesserungen durch modifizierte Verarbeitungsmethoden. Dazu gehört das Aushärten unter Druck oder unter Mikrowellenstrahlung. Die vorliegende Arbeit soll die Frage klären, ob Mikrowellenstrahlung oder Überdruck einen Einfluss auf die Härte und Expansion von Dentalgipsen haben. Hierfür gelangten drei Dentalgipse, ein Artikulationsgips, ein Hartgips und ein Superhartgips zur Untersuchung. Die Ermittlung der Härtewerte erfolgte nach DIN EN 1168 für Baugipse und die Ermittlung der Expansionswerte erfolgte nach DIN EN ISO 6873. Die zu prüfenden Gipse wurden zuvor für einen Zeitraum von 30 Minuten nach dem Anmischen des Gipses einem erhöhten atmosphärischen Druck, beziehungsweise nach dem Erreichen des jeweiligen Erstarrungszeitpunktes einer Mikrowellenstrahlung ausgesetzt. Zum Vergleich wurde eine Kontrollgruppe der drei Dentalgipse angelegt. Diese wurde nach DIN EN ISO 6873 unter den Standardbedingungen 23 ± 2 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 ± 10 % hergestellt. Anschließend folgten mikroskopische Untersuchungen der geschliffenen Probekörper an Außen- und Innenflächen. Dadurch wurde die Größe der im Gipskörper eingeschlossenen Luftblasen bestimmt und mit der Kontrollgruppe verglichen. Bei dem Artikulationsgips artibase® 60 war unter dem Einfluß von 1 bar Überdruck die Anzahl der Lufteinschlüsse in Form von Luftblasen im Vergleich zu den unter Normbedingungen hergestellten Probekörpern vermindert. Für den Hartgips dento-dur® 110 und den Superhartgips esthetic-base® 300 war dagegen die Anzahl der Luftblasen in den unter Überdruck hergestellten Probekörpern erhöht. Eine größere Anzahl von Lufteinschlüssen war zum Teil mit einer Verringerung des mittleren Flächeninhaltes der Luftblasen verbunden. Beim Vergleich der Härtewerte und der Expansionswerte der mit Mikrowellenstrahlung und Druck behandelten Gipsprobekörper waren im Vergleich mit der Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Zusammenfassend ist festzustellen, dass auf eine zusätzliche Bearbeitung der Dentalgipse mit Hilfe von Mikrowellenstrahlung und Überdruck verzichtet werden kann.

Pieper, Susanne: Untersuchungen zum Einfluss von Mikrowellenstrahlung und Druck auf Härte und Expansion von Dentalgipsen.

Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 66 Seiten, 2008

Inhaltsverzeichnis

	Seite
10. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	2
2.1. Historischer Überblick	2
2.2. Aktueller Entwicklungsstand	3
2.3. Anforderungen an Dentalgipse	4
2.4. Charakteristika der Dentalgipse	8
3. Material und Methode	12
3.1. Untersuchte Gipse	12
3.2. Untersuchungsmethoden	13
3.2.1. Mikrowellengerät	13
3.2.2. Drucktopf	17
3.2.3. Härtemessung (Brinell-Härte)	18
3.2.4. Dimensionsverhalten (Expansion)	20
3.3. Vorversuche	21
3.4. Hauptversuche	22
3.5. Mikroporositäten	31
3.6. Statistische Auswertung	33
4. Ergebnisse	34
4.1. Brinellhärte, Expansion und mikroskopische Analyse des Artikulationsgipses	34
4.2. Brinellhärte, Expansion und mikroskopische Analyse des Hartgipses	40
4.3. Brinellhärte, Expansion und mikroskopische Analyse des Superhartgipses	46
5. Diskussion	51
5.1. Diskussion der Methodik	52
5.2. Diskussion der Ergebnisse	54
6. Schlussfolgerung	57
7. Zusammenfassung	57
8. Literatur	61
9. Anhang	65
10. Thesen	66

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole

DIN	Deutsche Industrie-Norm
MPa	Megapascal
N	Newton
P/W	Pulver/Wasser
Q	Wärmeentwicklung
®	eingetragenes Warenzeichen
S	Standardfehler
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert

1 Einleitung

Gips ist der gebräuchlichste Modellwerkstoff und damit der am häufigsten angewendete Hilfsstoff in der Zahntechnik. Er dient zur Herstellung der verschiedenen Formen von Arbeits- und Orientierungsmodellen, als Formmaterial in der Plasttechnologie, für die Fixierung von Modellen und Hilfsteilen und ist als Bindemittel in Einbettmassen enthalten (SCHMUTH 1973). Die Herstellung eines naturgetreuen Arbeitsmodelles ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg, durch verbesserte Methoden und Werkstoffe das Optimum an Präzision zu erreichen (FRANZ 1979). Um ideale Materialeigenschaften des Gipses zu erzielen, sind der Forschung und der industriellen Umsetzung bei der Herstellung sowie der Verarbeitung kaum Grenzen zu setzen. So werden in diesem Bereich neue Technologien erprobt und eingesetzt. Zum Beispiel verbessern Beimischungen wasserlöslicher Kunstharze die Fließfähigkeit von Dentalgipsen. Ein normaler Gips ohne Stellmittel benötigt 40 bis 50 ml Wasser. Ein kunststoffvergüteter Gips benötigt dagegen nur 18 bis 22 ml Wasser auf 100 Gramm Pulver, um fließfähig zu sein. Zugleich wird dadurch auch die Kantenfestigkeit erhöht. Des Weiteren werden Mikrowellenstrahlen zur Trocknung von Gipsmodellen eingesetzt (EICHNER und KAPPERT 1996). Ebenso werden Mikrowellen zum Erwärmen der Küvettenhälften bei der Prothesenherstellung empfohlen, um dadurch ein besseres Einziehen des Isoliermittels in die Gipsoberfläche der Küvettenhälften zu erzielen (BLUMENSTEIN et al. 1997). Auch soll das Aushärten von Gips unter Druck schneller und mit weniger Lufteinschlüssen in Form von Luftblasen erfolgen (RISS 1990). In der Literatur ist zu finden, dass sich Gips unter Einwirkung von Überdruck komprimieren lässt. Allerdings ist erst bei sehr hohen Drücken ab 50 bar eine Komprimierung um circa 1% erzielbar (HOHMANN und HIELSCHER 1994). So findet auch bei der Polymerisation von Kunststoffprothesen neben den Standardverfahren die Mikrowellenpolymerisation durch Einsatz einer handelsüblichen Mikrowelle Anwendung. Insgesamt sind jedoch nur vereinzelt Hinweise und keine Ergebnisse in der Literatur zu finden, inwiefern Mikrowellenstrahlen oder Druck tatsächlich Einfluss auf die Materialeigenschaften wie Härte, Expansion und Abbindegeschwindigkeit von Gips haben. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll die Einwirkung von Mikrowellenstrahlung und Druck auf Härte und Expansion von Dentalgipsen der Typen II, III und IV untersucht werden. Als Bewertungsgrundlage dient der experimentelle Vergleich mit unter Standardbedingungen hergestellten Proben. Weiterhin soll der Einfluss von Überdruck auf die Lufteinschlüsse in Dentalgipsen mittels mikroskopischer Analysen untersucht werden. Zu untersuchende Werkstoffparameter sind Härte (Brinell-Härte), Dimensionsverhalten (lineare Abbindeexpansion) und Oberflächenstruktur (auflicht-

mikroskopische Oberflächenanalyse). Aus den Ergebnissen sollen Schlussfolgerungen für den Einsatz in der Praxis gezogen werden.

2. Literaturübersicht

2.1 Historischer Überblick

Das Wort Gips findet sich im Griechischen als „gypsos“, was soviel wie Kreide oder weißes Material heißt (ZUKUNFT 1974). Im Lateinischen wird Gips als „gypsum“ und in der aktuellen anglo-amerikanischen Literatur als „plaster“ bzw. „stone“ bezeichnet (BUCKSCH 1970). Als Baustoff wurde Gips in Jericho zum Verputzen von Wänden und Fußböden, aber auch als Schutzschicht zur Konservierung von Früchten und sogar von Leichen benutzt.

Im Jahre 980 fanden durch einen arabischen Arzt Gipsverbände bei Knochenbrüchen ihre Anwendung. In Europa wurden diese erst um 1800 von Chirurgen Napoleons eingeführt (ZUKUNFT 1974). Während Funde aus Ägypten, Phönizien und Etrurien auf sehr frühe, wenn auch bescheidene Anfänge der Zahnersatzkunde schon in der Antike hindeuten, dauerte es noch bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts, bis erstmals ein Modell bei der Herstellung von Zahnersatz zu Hilfe genommen wurde (EICHNER und KAPPERT 1996).

Die erste Anwendung des Gipses als Modellmaterial geht auf Philipp Pfaff (Hofzahnarzt des Preußenkönigs Friedrich des II) zurück, der in seinen 1756 erschienenen „Abhandlungen von den Zähnen des menschlichen Körpers und deren Krankheiten „das Ausgießen einer Wachsabformung mit einem Teig aus feingepulvertem Gips mit Wasser“ beschrieben hat (HOFFMANN-AXTHELM 1973). Diese bahnbrechende Idee Pfaffs ermöglichte erst den Aufschwung, den die zahnärztliche Prothetik im nächsten Jahrhundert zur Zeit der Industrialisierung nehmen sollte. Ab diesem Zeitpunkt zeichnete sich eine immer schneller werdende Entwicklung und Markteinführung von Gipstypen ab. Zum Beispiel versuchten um 1840 die Amerikaner L. Gilbert und W. H. Dwinelle erfolgreich, die Abbindung des Gipses durch Zusätze von Salzen zu beschleunigen und verwandelten ihn damit zu einem geeigneten Abformmaterial (HOFER et al 1952). Zum Beispiel fand Gips beim funktionellen Gipsabdruck bei zahnlosen Patienten Anwendung (REICHENBACH 1952).

Weiterhin wurde 1899 eine bedeutende Steigerung der bis dahin unzureichenden Festigkeitseigenschaften des Gipses durch Lewinski erzielt. Er erfand das „nasse Brennen“ des Rohgipses im Autoklaven und damit auch den in der Zahntechnik bedeutenden Hartgips

(EICHNER und KAPPERT 1996). Durch spezielle Zusätze und Herstellungsverfahren versuchte man, die Eigenschaften so zu modifizieren, wie sie für den jeweiligen Einsatzbereich benötigt wurden. Als Ausgangsmaterial für die Naturgipse dient das in der Zeit des Perm abgelagerte Dihydrat- und Anhydritgestein. Modifikationen des Gipses sind faseriger Gips (Schaumgips, Seidengips, Strahlgips), spätiger Gips (Gipsspat, Marienglas, Frauenglas, Selenit), körniger Gips (Alabastergips), blättriger, dichter und erdiger Gips (HOFFMANN - AXTHELM 2000). Ab 1966 gelang die Entwicklung synthetischer Gipse, die aufgrund ihres hohen Reinheitsgrades und der besseren Steuerbarkeit des Kristallwachstums physikalische Eigenschaften aufwiesen, die von Naturgips nur schwer erreichbar sein sollen (HÖFT 1989). Trotz seiner Schwächen, die in der immer noch relativ geringen Biege- und Abriebfestigkeit liegen, ist Gips bis in die heutige Zeit der meistverwendete Modellwerkstoff geblieben. In der restaurativen Zahnmedizin dient dem Zahntechniker das präzise Modell als wichtigste Arbeitsgrundlage (WIRZ 1994).

2.2 Aktueller Entwicklungsstand

Der Begriff Dentalgips lässt sich definieren als Dentalprodukt, das hauptsächlich aus Kalziumsulfat-Hemihydrat und den notwendigen Stellmitteln besteht. (DIN EN ISO 6873 Dentalgipse). Die in der heutigen Zeit gebräuchlichen Dentalgipse sind vorwiegend Naturgipse, welche als Abdruckgipse und Modellgipse Anwendung finden und Synthesegipse, die als Superhartgipse eingesetzt werden. Naturgipse werden im Gipsbruch abgebaut. Sie haben je nach Vorkommen einen natürlichen Verunreinigungsgrad von 3-15 Prozent. Das Rohmaterial für synthetischen Gips besteht aus einem Kalziumsulfat, das seinen Ursprung in exakt gesteuerten chemischen Prozessen hat. Als weitere Ausgangsmaterialien werden Abfallgipse aus der chemischen Industrie, so genannte Rauchgipse, eingesetzt (SAILER 1997).

Das System Kalziumsulfat/Wasser umfasst 5 Kristallarten:

1. Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) = Kalziumsulfat, = Dihydrat = Doppelhydrat.
2. Kalziumsulfathemihydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) = Semihydrat = Halbhydrat.
3. Lösliches Kalziumsulfat = lösliches Anhydrit
4. Natürliches Kalziumsulfat (Anhydrit)
5. Hochtemperaturanhydrit.

Das Hochtemperaturanhydrit existiert bei Temperaturen von über 1180°C und lässt sich unter diesen Temperaturen nicht stabilisieren (FRANZ 1981). Die zahntechnisch interessanten Phasen des Systems Kalziumsulfat/Wasser sind die Dihydratphase, die jeweils das Ausgangsprodukt für die Dehydratation und das Endprodukt für die Rehydratation darstellt und die Kalziumsulfat-Hemihydratphase. Letztere tritt in zwei verschiedenen Formen auf, in der Alpha-Form und in der Beta-Form. Die Bildung dieser Formen wird durch die Art des Brennvorganges bestimmt. Durch „trockenes Brennen“ entsteht Beta-Halbhydrat, welches sich durch flockige, schuppenförmig zerklüftete Sekundärteilchen aus feinen Einzelkristallen, eine größere Oberfläche und eine bessere Löslichkeit als Alpha-Halbhydrat charakterisieren lässt. Es ist die energiereichere aber weniger stabile Form. Nasses Brennen führt zur Bildung von Alpha-Halbhydrat, welches aus kompakteren, gut ausgebildeten, meist durchsichtigen Primärteilchen aufgebaut ist. Der Brennvorgang findet bei einer Temperatur von mindestens 130°C sowie einem Druck bis zu 5 bar statt. Die Eigenschaften des Halbhydrats können durch Variation von Druck und Temperatur des Brennvorganges variiert werden (FRANZ 1981). Während der Aufbereitung und des Brennens des Gipses erfolgt seine Reinigung von Beimengungen. Die in der chemischen Industrie in großen Mengen anfallenden so genannten Chemiegipse haben eine rhombenförmige, dünne Plättchenform mit hohem Mischwasserbedarf und schlechter Fließfähigkeit. Durch spezielle chemische Verfahren, wie beispielsweise dem in der Bundesrepublik Deutschland patentierten Knauf- und dem Giulini-Verfahren wird eine Umkristallisation zu Beta-Halbhydrat erreicht (FINK 1986). Im Vordergrund bei der Entwicklung der Modellmassen stehen werkstoffbezogene, objektive Kriterien. Bei der Beurteilung von Modellmassen dominieren die technischen Daten wie Druckfestigkeit, Detailwiedergabe und Dimensionsstabilität (ISSEL 1965). Unter diesem rein technischen Blickwinkel hat sich mittlerweile ein sehr hohes Niveau eingestellt, dessen Einhaltung durch entsprechende DIN-Prüfmethoden gewährleistet wird (SCHOSTEK 1998).

2.3 Anforderungen an Dentalgipse

Für den richtigen Einsatz von Dentalgipsen ist es notwendig, die Eigenschaften der Modellwerkstoffe genau zu kennen und so mit den weiteren Materialien zu kombinieren, dass sich Eigenschaften wie Expansion und Kontraktion bestmöglich aufheben. Hohe Anforderungen werden auch an die Sauberkeit bei der Modellherstellung gestellt. So kann bereits eine Verunreinigung des Halbhydrates mit 1% Dihydrat die Abbindezeit um 75%

verkürzen, wie auch Verunreinigungen der Abformung mit Speichel, Plaque und Zellresten eine Oberflächenschädigung des Modells bewirken können (EICHNER 1996).

An Dentalgipse bestehen nach FRANZ (1981) folgende zahntechnische Anforderungen:

1. Ausreichende Erstarrungszeit
2. Hohe Detailwiedergabe
3. Hohe Dimensionsstabilität
4. Glatte, porenfreie Oberfläche
5. Sehr gute Fließfähigkeit während der plastischen Phase
6. Keine nachteiligen Veränderungen durch Kontakt mit anderen Materialien, wie z.B. Abformwerkstoffen, Wachsen
7. Ausreichende Abriebfestigkeit gegenüber zahnärztlichen und zahntechnischen Instrumenten
8. Ausreichende Druck- und Biegefestigkeit
9. Wirtschaftlichkeit
10. Physiologische Unbedenklichkeit

Die Verarbeitungsbedingungen für Dentalgipse im Labor nehmen Einfluss auf die Produkteigenschaften. Bedingungen dieser Art sind:

- 1) Wasserqualität (z.B. Leitungswasser, destilliertes oder deionisiertes Wasser)
- 2) Mischungsintensität
- 3) Mischungsverhältnis
- 4) Klima (Luftfeuchtigkeit, Raumtemperatur, Temperatur des Gipses und Temperatur des Anmischwassers)
- 5) Lagerbedingungen während des Abbindens, Zeitpunkt des Entformens
- 6) Aufbewahrung der Gipskörper nach der Herstellungsphase

Eine wesentliche Auswirkung auf die Eigenschaften des abgebundenen Gipses besitzt die Temperatur. So steigt nach längerer Erwärmung auf 75°C die Gipshärte, jedoch bei gleichzeitigem Verlust der Kantenfestigkeit (PLÖTNER 1996). Eine Erwärmung auf 90°C führt zu einem Härteverlust, ebenso eine längere Lagerung über 50°C. Daher ist eine Gipsverarbeitung unter standardisierten Bedingungen durchzuführen (FRANZ 1981).

Von Modellen zur Herstellung von Zahnersatz im Labor werden hinreichende Festigkeit und Genauigkeit gefordert.

Vier Werkstoffeigenschaften bestimmen nach VIOHL (1977) die Genauigkeit.

1. Verträglichkeit mit Abformmaterialien
2. Dimensionsstabilität
3. Genauigkeit in der Detailwiedergabe
4. Verformungs- und Abriebfestigkeit

In der Bundesrepublik Deutschland gilt seit Juli 2000 die DIN EN ISO 6873 für Dentalgipse. Entsprechend dieser DIN werden die zahnärztlichen Gipse in 5 Typen eingeteilt:

- | | |
|----------|---|
| Typ I. | Abdruckgips |
| Typ II. | Modellgips |
| Typ III. | Modellhartgips |
| Typ IV. | Superhartgips für Formen, geringe Expansion |
| Typ V. | Superhartgips für Formen, hohe Expansion |

Dentalgips Typ I ist als Abdruckgips ein Beta-Halbhydrat. Er unterscheidet sich vom Gips Typ II durch eine etwas kleinere Abbindeexpansion und geringere Härte. Modell- und Artikulationsgips ist nach DIN EN ISO 6873 ein Alabastergips Typ II. Er ist ebenso wie der Typ I Gips ein Beta-Halbhydrat des Kalziumsulfats $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. Artikulationsgips ist ein weißer Modellgips, welcher relativ weich, gering wasserlöslich und porös nach dem Abbinden ist. Beim Abbinden expandiert er leicht. Er findet Verwendung zur Anfertigung von Situations- und Vormodellen sowie für Reparatereinbettungen, Vorwälle und Eingipsungen von Modellen im Artikulator. Alabaster- beziehungsweise Artikulationsgips ist wegen seiner unzureichenden Härte und Druckfestigkeit weder für Küvetteneinbettungen noch zur Herstellung von Arbeitsmodellen geeignet (EICHNER und KAPPERT 1996). Hartgips ist nach DIN EN ISO 6873 ein Typ III Gips. Dieser Gips ist ein Alpha-Halbhydrat des Kalziumsulfates $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. Hartgips ist abriebfest, kantenfest und 10-fach so hart wie Rohgips (HOHMANN und HIELSCHER 1994). Hartgips dient als Material für die Herstellung von Gegenkiefermodellen, ferner auch als Arbeitsmodell, auf dem Total- und Teilprothesen gefertigt werden (EICHNER und KAPPERT 1996). Weiterhin findet er Verwendung als Sockel für Sägeschnittmodelle und ist genug druckfest für Küvetteneinbettungen.

Superhartgips ist nach DIN EN ISO 6873 ein Typ IV Gips. Er ist wie der Hartgips ein Alpha-Halbhydrat des Kalziumsulfates $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. Spezialhartgips wird auf synthetischem Weg hergestellt. Er ist extrem hart, kantenfest, abriebfest und teuer. Bei korrekter Verarbeitung

weist er hohe mechanische Qualität auf. Superhartgips ist das Material der Wahl, wenn Präzision und hohe mechanische Beanspruchbarkeit vom Modell verlangt werden. Sägemodelle, Stumpfmodelle und Meistermodelle für die Modellgusstechnik werden aus Typ IV Gipsen hergestellt (EICHNER und KAPPERT 1996). Typ V Gipse sind durch Zusatzstoffe wie speziell verstärkte Kunststoffe weiter industriell aufgewertet und erreichen dadurch höhere Endhärtewerte. Sie dienen ebenso wie Typ IV Gipse der Herstellung von Modellen, welche eine hohe mechanische Beanspruchbarkeit gewährleisten wie zum Beispiel Stumpfmodelle.

Die Normen enthalten Mindestanforderungen an die Dentalgipse. Weiterhin wurde in der seit Januar 1992 gültigen DIN EN 26 873 „Zahnheilkunde: Dentalgipse“ die Verarbeitung der Gipse per definitionem geregelt:

1. Einstreuzeit:
Zeitabschnitt des Einstreuens des Pulvers in die Anmischflüssigkeit.
2. Sumpfzeit:
Zeitabschnitt des Durchfeuchtens des Pulvers.
3. Rührzeit:
Zeitabschnitt des Verrührens von Gipspulver und Anmischflüssigkeit.
4. Verarbeitungszeit:
Zeitspanne vom Beginn des Einstreuens des Pulvers in die Flüssigkeit bis zum Beginn des Versteifens (ohne Rütteln).
5. Erstarrungsende:
Zeitpunkt, an welchem die Nadel des Vicat-Gerätes (siehe Abb 1 auf Seite 8) noch maximal 2 mm in den Gips eindringt

Das Vicatnadelgerät ermittelt die Erstarrungszeit. Als Erstarrungszeit gilt die gesamte Zeitdauer vom Mischbeginn bis zu dem Zeitpunkt, ab dem die Vicatnadel mit einer Last von 300 Gramm zum ersten Mal nicht mehr als 2 mm tief in den Probekörper eindringt.

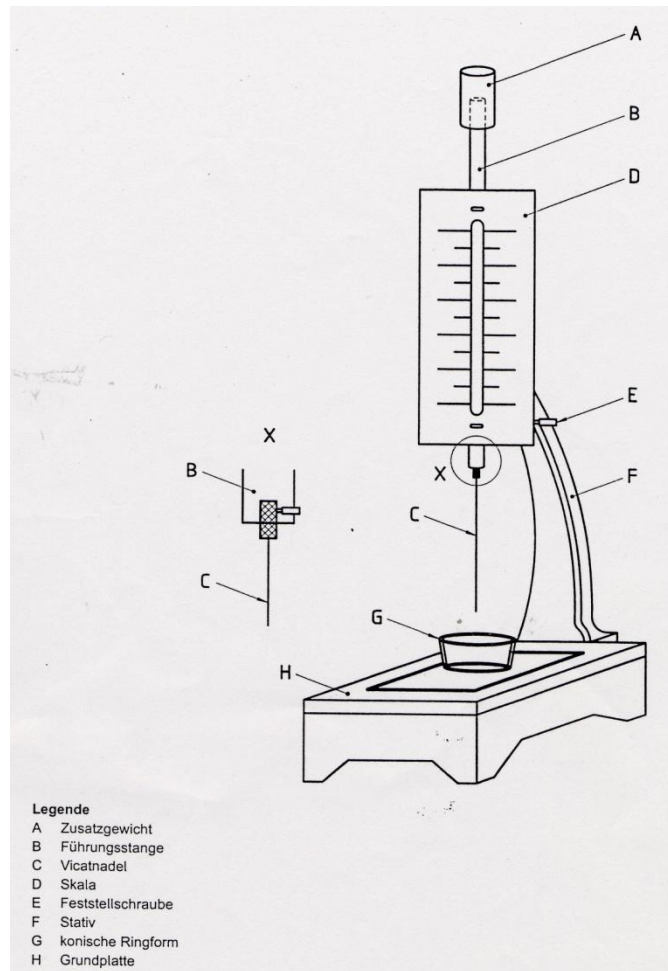


Abb.1: Aufbau des Vicatnadelgerätes (Quelle: DIN ISO 6873)

2.4 Charakteristika der Dentalgipse

Ein für Gips charakteristisches Merkmal ist die **Härte**, welche durch das Auskristallisieren des Dihydrats und die folgende Austrocknung bestimmt wird. Der Verlauf der Härtesteigerung von Gipsen ist zeitabhängig. In der Kristallisationsphase nimmt die Härte rasch zu und erreicht eine Stunde nach Anmischbeginn annähernd ein Drittel der Endhärte, dies wird als Feuchthärte bezeichnet (HARRIS 2004). Danach setzt unter üblichen Raumbedingungen zunächst langsam, dann rascher, die Austrocknung ein, die innerhalb von 24 Stunden zum Verlust von 90 % des interkristallinen Wassers führt und mit einer erheblichen Härtesteigerung einhergeht. Nach 5 bis 7 Tagen erreichen die Gipse ihre Endhärte, welche als Austrocknungshärte bezeichnet wird. Diese Austrocknungshärte ist jedoch reversibel. Werden ausgetrocknete Gipsproben in Wasser gelegt, so nehmen sie innerhalb von 10 bis 15 Minuten soviel an Wasser auf, wie sie vorher durch Austrocknung

verloren haben; ihre Härte sinkt dabei auf den 1-Stunden-Wert ab. Wird die Härte nach DIN 13911 mit einer Kugel (Durchmesser 10 mm und 500 N Last) geprüft, so ist die maximale Härte nach 6 bis 7 Tagen erreicht. Zwei Drittel dieser Maximal-Härte erzielt der nach Gebrauchsanweisung angemischte Gips schon zwei Stunden nach Mischbeginn. Die Härte des Chemie- oder Synthetic-Gipses steigt schneller an als die des Naturgipses. Eine Stunde nach Mischbeginn hat der Naturgips 45 % und der Chemiegips 50 % der Maximalhärte erreicht (FRANZ 1979). Eine wichtige Rolle spielt auch die Lagerung der Gipse. Dentalgipse sollten immer in feuchtigkeitsdichten Behältern bei maximal 25 °C und 50 % Luftfeuchtigkeit verwahrt werden (HERAEUS KULZER 1997). Das Halbhydrat sollte in geschlossenen Behältern gelagert werden, um eine Reaktion mit Feuchtigkeit aus der Luft zu vermeiden, die zu einer Bildung von Dihydrat führen und die Abbindezeit beschleunigen kann (COMBE 1975). Generell wird durch die längere Lagerung die Abbindezeit verlängert, die Standfestigkeit erhöht, die Thixotropie verringert, die Härte reduziert und die Rauigkeit erhöht. Nur Biege- und Druckfestigkeit werden durch die Alterung kaum beeinflusst (WIRZ 1994).

Die Ergebnisse von Härtemessungen sind nach FRANZ (1981) abhängig von

1. der Prüfungsmethode: Makrohärte, Mikrohärte sowie den Belastungsgraden,
2. der Größe und Form des Probekörpers (Volumen/Oberfläche),
3. der Stelle der Härte-Prüfung : Bodenfläche, Seitenfläche, Oberfläche,
4. dem Gipstyp I, II, III, IV, und V
5. der Wasser/Gips-Relation,
6. der Feucht- oder Trockenlagerung (Klima),
7. dem Zeitpunkt der Prüfung,
8. der Zugabe von Kochsalz oder Dihydrat,
9. dem Material, gegen das der Gips erstarrt,
10. der Luftfeuchtigkeit während der Erstarrung im elastischen Abdruck

Normwerte für Härtemessungen nach der DIN EN ISO 6873 sind in der Tabelle 1 auf Seite 11 dargestellt.

Ein weiteres charakteristisches Merkmal der Dentalgipse ist das **Dimensionsverhalten**, die **lineare Abbindeexpansion**.

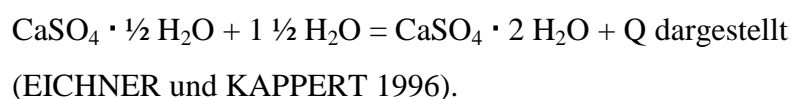
Der Abbindevorgang schließt mehrere physikalisch-chemische Prozesse ein, die zeitlich neben- und nacheinander ablaufen.

Während des Einstreuens des Pulvers in Wasser und des Anrührens vollzieht sich die Lösung des Halbhydrats. Die Gipsteilchen werden mit Wasser umhüllt und angelöst. Die Kristalle

brechen danach auseinander und können an ihrer vergrößerten Oberfläche mehr Wasser binden. Durch das Flüssigkeitspolster nimmt die Verschieblichkeit der Teilchen gegeneinander zu; es bildet sich ein kolloidaler Gelzustand aus, dessen Fließfähigkeit vom Wasseranteil und der Mischintensität bestimmt wird. Unter der Einwirkung des umgebenden Wassers lösen sich die Halbhydratkristalle allmählich auf und hydratisieren zum Dihydrat, indem sie H₂O-Moleküle zwischen ihren CaSO₄-Ketten binden. Die chemische Abbindereaktion läuft in Form einer exothermen Reaktion ab. Das neu gebildete Dihydrat ist in Wasser etwa 4-mal weniger löslich als das Halbhydrat und fällt aus der Lösung in kolloidaler Form aus. In dem Dihydrat-Gel bilden sich rasch nadelförmige Kristalle aus. Diese verfilzen dann mit zunehmendem Wachstum untereinander, wodurch die Verformbarkeit des Gipsbreies immer geringer wird und die Versteifung eintritt. Gleichzeitig drängen sich die wachsenden Kristalle gegenseitig auseinander und verursachen eine Ausdehnung des Gipses (WELKER und LENZ 1972). Diese Ausdehnung des Gipses wird als Abbindeexpansion bezeichnet. Hierbei wird Energie in Form von Wärme frei. Diese Energie wurde bei der Herstellung des Gipses zuvor beim Brennen zum Austreiben von Wasser eingesetzt. Ab Erstarrung des Gipses beginnt die Expansion, wobei die thermische Expansion reversibel ist (SCHWENZER 1982).

Man unterscheidet zwischen einem theoretischen und einem praktischen Abbindevorgang. Beim theoretischen Abbindevorgang wird dem gebrannten Gips die gleiche Menge Wasser zugeführt, wie ihm beim Brennen ausgetrieben wurde. Diese Gips-Wasser-Mischung ist nicht fließfähig und bindet schnell ab. Beim praktischen Abbindevorgang wird ein Überschuss an Wasser zugegeben, um einen fließfähigen Brei mit sahniger Konsistenz zu erhalten. Das überschüssige Wasser lagert sich zwischen den Gipskristallen ab und wird als Porenwasser bezeichnet (CAESAR und ERNST 1976). Der zeitliche Ablauf des Abbindevorganges wird in drei charakteristische Phasen gegliedert. In der ersten Phase nach dem Anmischen ist der Gipsbrei fließfähig (Verarbeitungszeit). In der zweiten Phase ist der Gips noch schneid- und modellierbar (Modellierzeit), und in der letzten Phase erfolgt zur so genannten Erstarrungszeit die vollständige Aushärtung (WIRZ 1994).

Die Abbindereaktion wird anhand der chemischen Formel:



Q= Wärmeentwicklung (exotherme Reaktion)

Die Abbindeexpansion von Dentalgipsen hat bei der Modellherstellung eine vergrößerte Wiedergabe abgeformter Strukturen zur Folge und ist daher meist unerwünscht (GENTE et al. 1988). Diese Dimensionsänderungen werden demgegenüber zum Beispiel bei Einbettmassen zum Ausgleich der Kontraktion beim Abkühlen eines Guss-Stückes ausgenützt (WAGNER 1977). Je größer die Präzision der prothetischen Konstruktion, desto größer muss die Formtreue des Modells bzw. desto geringer die Expansion des verwendeten Modellgipses sein (HAUNFELDER 1977). Dimensionsänderungen werden anhand von Streckenmessungen an Prüfkörpern ermittelt.

Die Resultate der Gipsexpansion sind nach FRANZ (1981) abhängig von:

1. der Messmethode: Messbeginn, Nullwert, Messkraft, Probekörperform, Messende.
2. dem Gipstyp I bis V.
3. der Dosierung: a) nach Vorschrift, b) mit mehr oder weniger Wasser.
4. der Wasserqualität: a) Aqua destillata, b) Leitungswasser.
5. dem Klima der Aufbewahrung.
6. der Rührzeit und Rührintensität.
7. der Reinheit des Gipspulvers
8. der Lagerdauer: im feuchten und trockenen Klima; kurzfristige Wässerung des abgebundenen Gipskörpers.
9. der reversiblen thermischen Expansion.
10. den Abformmaterialien, in denen der Gips erstarrt: a) Hydrokolloide: Agar, Alginat;
b) Elastomere: Polysulfide, Silikone und Polyäther

Um eine Vergleichbarkeit von Messergebnissen zu gewährleisten, erfolgt die Messung der Abbindeexpansion nach der DIN EN ISO 6873. Die Normwerte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab.1: DIN EN ISO 6873 Dentalgipse (2000) für die Abbindeexpansion und Druckfestigkeit

Typ	Abbindeexpansion %	Druckfestigkeit MPa	
		min	max
I	0 - 0,15	4,0	8,0
II	0 - 0,30	9,0	-
III	0 - 0,20	20,0	-
IV	0 - 0,15	35,0	-
V	0,16 - 0,30	35,0	-

Zur Optimierung und Verbesserung der Materialeigenschaften werden immer wieder neue Technologien erprobt und eingesetzt. So werden zum Beispiel Mikrowellenstrahlen zur Trocknung von Gipsmodellen empfohlen (EICHNER und KAPPERT 1996). Sie sollen zu einer schnelleren Verfügbarkeit der Arbeitsmodelle führen und den Arbeitsprozess beschleunigen. Weiterhin gibt es in der Literatur Hinweise darauf, dass ein Aushärten von Gips unter Druck schneller und mit weniger Lufteinschlüssen erfolgt (RISS 1990).

Ebenso soll unter Einwirkung von Überdruck ab 50 bar eine Komprimierung des Gipses um circa 1% möglich sein (HOHMANN und HIELSCHER 1994).

Nach genaueren Literaturrecherchen ist jedoch festzustellen, dass hierzu keine konkreten Daten vorliegen. Es ist nicht bekannt, in wieweit Mikrowellenstrahlung oder Druck tatsächlich Einfluss auf die Materialeigenschaften wie Härte und Expansion haben.

3. Material und Methode

3.1. Untersuchte Gipse

Für die Versuchsreihen wurde der **Artikulationsgips** arti-base[®] 60 (**Gips Typ II**), der **Hartgips** dento-dur[®] 110 (**Gipstyp III**) und der **Superhartgips** esthetic-base[®] 300 (**Gipstyp IV**) der Firma dentona AG in Dortmund verwendet. Die Zahlen 60, 110 und 300 charakterisieren den Härtewert nach 24 Stunden.

Der Artikulationsgips ist nach Herstellerangaben ein hochwertiger Beta-Gips, der Hartgips ein Gemisch aus Alpha-Gips und Beta-Gips und der Superhartgips ist zu großen Anteilen ein Alpha-Gips. Als Zusatzstoffe werden nach HIEGEMANN (2003 a) eingesetzt:

- Kaliumsalz einer organischen Säure als Abbindeverzögerer
- Tartrat als Beschleuniger und Expansionsminderer
- Kaliumsulfat als Expansionsminderer
- polymeres Melaninsulfonat als Konsistenzregulator
- anorganische Weiß- und Buntpigmente
- Füllstoffe (z.B. Kreide)

Genauere Angaben zu den prozentualen Anteilen der Zusatzstoffe waren nicht zu erhalten.

Tab. 2: Eigenschaften der zu untersuchenden Dentalgipse
(nach Herstellerangaben)

Fabrikatname Produkt	dentona®		
	arti-base® 60	dento-dur® 110	esthetic-base® 300
Typ nach DIN EN ISO 6873	II	III	IV
Pulver/ Wasser- Verhältnis	P= 100 g W= 30 ml	P= 100 g W= 28 ml	P= 100 g W= 20 ml
Farbe	weiß	blau	perlgrau
Konsistenz	standfest	thixotrop	hochthixotrop
Rührzeit	30 s (manuell)	30 s (maschinell)	60 s (maschinell)
Ver- arbeitungszeit	2 bis 3 Min	5 bis 6 Min	8 bis 9 Min
Erstarrungs- zeit	3 bis 4 Min	7 bis 8 Min	11 bis 13 Min
Abbindezeit	ca. 4,5 Min	8 bis 9 Min	12 bis 13 Min
Entformen nach	entfällt	20 Min	30 Min
Härte	nach30Min=50N/mm ² nach24Std.=>60N/mm ²	nach30Min=80N/mm ² nach24Std.=>110N/mm ²	nach30Min=210N/mm ² nach24Std.=>300N/mm ²
Druck- festigkeit	nach 24Std.=>25MPa	nach 24Std.=>40MPa	nach 24Std.=>110MPa
Abbinde- expansion	< 0,05 %	< 0,15 %	< 0,08 %
Charge	605 00 25	605 00 91	605 00 72

3.2. Untersuchungsmethoden

3.2.1. Mikrowellengerät

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen im Dezimeter-, Zentimeter- und Millimeterbereich mit den entsprechenden Frequenzen zwischen 300 MHz und 300 GHz. Sie bilden innerhalb des Spektrums der elektromagnetischen Wellen die Brücke zwischen den eigentlichen Radiowellen und der Infrarotstrahlung (BROCKHAUS 2000). Elektromagnetische Wellen sind ineinander greifende, zeitlich sich ändernde, elektrische und magnetische Felder, welche sich mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum ausbreiten (JODL und LÜSCHER 1976).

Die Mikrowellen gehören zum Bereich der Höchsthfrequenzwellen, welche wie folgt über ihre Frequenzbereiche eingeteilt werden:

Tab. 3: Einteilung der Wellenlängen und Frequenzbereiche von Höchsthfrequenzwellen (Mikrowellen)

Deutsche Bezeichnung	Dezimeterwellen 1 m bis 10 cm 300 MHz bis 3 GHz	Zentimeterwellen 10 cm bis 1 cm 3 GHz bis 30 GHz	Millimeterwellen 1 cm bis 1 mm 30 GHz bis 300 GHz
Englische Bezeichnung	UHF Ultra High Frequency	SHF Super High Frequency	EHF Extrem High Frequency

Die Hauptanwendungsgebiete der Mikrowellentechnik sind gegenwärtig das Radarverfahren, die Radioastronomie, die Geschwindigkeits- bzw. Abstandsmessung sowie die Aufheizung von Substanzen, beispielsweise von Nahrungsmitteln durch Mikrowellengeräte oder von Gewebe in der medizinischen Anwendung. Beispielsweise finden Mikrowellen ihre Anwendung auch in der Zahntechnik bei den mikrowellenhärtenden Prothesenkunststoffen ARCON MCI (Produktinformation ARCON MCI 1997) und Microbase (Dentsply DeTrey, Dreieich, Germany)

Alle elektromagnetischen Wellen weisen dieselben Effekte auf, die uns vom Licht bekannt sind in Bezug auf Interferenzen, Beugung, Brechung, Reflexion, stehende Wellen und Polarisierbarkeit.

Ob eine elektromagnetische Welle an einem Körper reflektiert, unter Brechung oder Beugung ihn durchstrahlt, oder ob sie von ihm absorbiert wird, hängt von der Wellenlänge und von der Molekülstruktur ab.

Eigenschaften von Mikrowellen nach JODL und LÜSCHER (1976):

1. Allgemeine Eigenschaften:

- Mikrowellen sind elektromagnetische Strahlen
- transportieren Energie
- können im Vakuum dämpfungsfrei Energie übertragen
- zeigen Interferenz
- breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus
- bilden Raumwellen

2. Spezielle Eigenschaften:

- Mikrowellen bestehen aus polarisierten Transversalwellen
- werden an Metallen reflektiert
- können dielektrische Materialien durchstrahlen
- werden an Metallen reflektiert
- durchstrahlen annähernd verlustlos Porzellan, Keramik, Glas und Kunststoffe
- sind bezüglich der Krebsgefahr für menschliches Gewebe ungefährlich
- werden von menschlichem Gewebe, Nahrungsmitteln oder auch polaren Kunststoffen absorbiert.

Der Vorgang der Mikrowellenabsorption, also die Erwärmung eines Materials infolge der Absorption von Mikrowellen, beruht im Wesentlichen auf den Mechanismen der induktiven beziehungsweise der dielektrischen Erhitzung.

Die elektrisch neutralen Moleküle eines Dielektrikums richten sich infolge der elektrischen Feldkomponente der elektromagnetischen Strahlung aus. In diesem Wechselfeld werden die Moleküle daher mehr oder weniger stark hin und her bewegt. Diese molekularen Schwingungen verursachen innere Reibungen, dielektrischer Verlust genannt, und erzeugen auf diese Weise Wärme. Erzeugt werden die Mikrowellen vom Magnetron, einer Hochfrequenzröhre, welche die Wellen aussendet. Für Dentalzwecke gibt es gegenwärtig kein speziell hergestelltes Mikrowellengerät, so dass im Rahmen der Versuche in Anlehnung an das Microbase-System, ein im Haushalt übliches Gerät eingesetzt wird. Für die Versuche wurde ein Mikrowellengerät der Firma Quelle mit dem Handelsnamen privileg verwendet, da es als einfaches Haushaltsgerät allen Anforderungen für die Versuchsreihen entsprach.

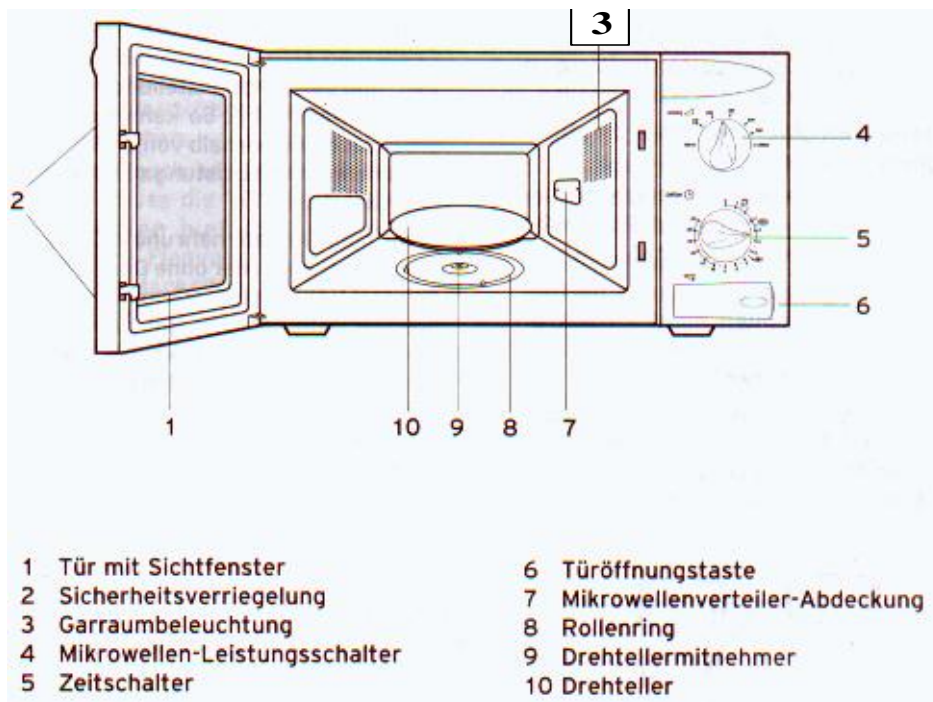


Abb.2: Aufbau des Mikrowellengerätes Privileg fun (Betriebsanleitung der Firma Quelle, 2002)

Die Mikrowelle weist folgende technische Daten auf:

Hersteller: Quelle

Handelsname: privileg fun

Produkt-Nr. 992.788-0 blau

Nennspannung/Frequenz: 230 Volt /50 Hz

Nennaufnahme gesamt: 1200 Watt

Hochfrequenz: 2450 MHz

Mikrowellenausgangsleistung: 800 Watt

Mikrowellenleistungsstufen: 7 Stufen, stufenlos einstellbar

Zeitschalter: 0,5 bis 35 Min mit akustischem Endsignal

Abmessungen:

-Gehäuse (Höhe/Breite/Tiefe in mm) : 275/489/355

-nutzbarer Garraum (Höhe/Breite/Tiefe in mm): 190/300/295

-Garraumvolumen (Brutto): ca. 20 Liter

-Gewicht: ca. 13,5 kg

-Zubehör: Drehteller (Durchmesser 290 mm)

-GS-Zeichen: VDE-GS

3.2.2. Drucktopf

Für die Durchführung der Versuche unter Überdruck im Labor der Firma dentona in Böhlen-Lippendorf fand der Drucktopf Polyclav[®] - Polymerisationsüberdruckgefäß (Order No. 070-000-00) der Firma Dentaureum Anwendung.

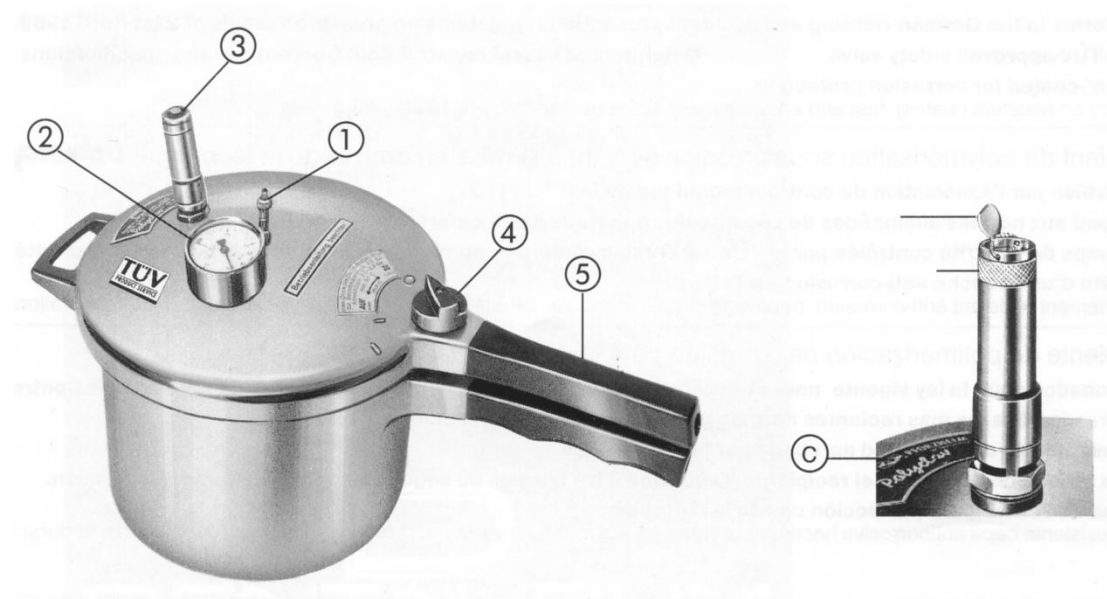


Abb. 3: Aufbau Drucktopf Polyclav[®] (Gebrauchsanweisung, DENTAURUM 2001)

- | | |
|----------------------|---|
| 1. Einlassventil | entspricht der Norm von PKW-Reifen |
| 2. Manometer | besitzt einen grünen Markierungsstrich bei 2,0 – 2,2 bar Betriebsdruck |
| 3. Sicherheitsventil | es tritt in Funktion, wenn das Gefäß über die rote 2,5 bar – Marke hinaus aufgepumpt wird und lässt dann den Überdruck ab |
| 4. Schaltknebel | er dient zur Deckelverriegelung sowie als Luftablasshahn. Die Doppelfunktion ist eine zusätzliche Sicherung gegen das Öffnen des Gefäßes bei Druck. Beim Lösen der mechanischen Deckelverriegelung wird gleichzeitig ein Luftablasshahn geöffnet und der Druckausgleich geschaffen. |
| 5. Bedienungsgriffe | |

Der für die Versuche verwendete Drucktopf der Firma Dentaureum weist nach Herstellerangaben folgende technische Daten auf:

- | | |
|------------------------------------|---|
| -Höhe: | 180 mm, mit Ventil 250 mm |
| -Innendurchmesser: | 200 mm |
| -Gewicht: | ca. 2,5 kg |
| -Material: | Aluminium mit Innenbeschichtung TEFLON [®] |
| -Inhalt: | 4 Liter |
| -Arbeitsdruck: | 2,0 bis 2,2 bar |
| -Zulässiger Betriebsüberdruck: | 2,5 bar |
| -Prüfdruck: | 4 bar |
| -Maximaler Druck im Druckluftnetz: | 8,0 bar |
| -Maximale Betriebstemperatur: | 50 °C |

3.2.3 Härtemessung

Unter Härte versteht man die Größe des Widerstandes, den ein fester Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt. Zu den einfacheren und zugleich älteren Methoden der Einteilung der Härte gehört die **Ritzhärte**. Hierbei ist Stoff 1 härter als Stoff 2, wenn Stoff 1 den Stoff 2 leichter ritzt als umgekehrt. Eine weitere bekannte Einteilung ist die Härteskala nach MOHS. Hier bedient man sich einer empirisch aufgestellten Härteskala, in der 10 Mineralien, geordnet nach wachsender Härte, die einzelnen Härtegrade verkörpern. Härtegrad 1 symbolisiert Talk und Härtegrad 10 Diamant. Gips ist in der Härteskala nach MOHS in der Härtestufe 2 zu finden. Bei technischen Härteprüfungen wird mit bestimmter Last ein bleibender Eindruck an der Oberfläche der Probe hervorgerufen und das Verhältnis von Prüfkraft zu Oberfläche des Eindrucks als Härtewert angegeben. Möglichkeiten der Härtebestimmung des Gipses sind zum Beispiel die Härtebestimmung nach BRINELL, oder die ROCKWELL-Härtebestimmung (WIRZ, 1994). Bei der Bestimmung der Härte nach **BRINELL** wird eine gehärtete Stahlkugel bestimmten Durchmessers mit der Kraft F gegen die Oberfläche des zu prüfenden Materials gedrückt. Die Größe des entstehenden Eindrucks ist ein Maß für die Härte (KUCHLING 1989). Eine solche Möglichkeit der Härtemessung nach DIN 1168 für Baugipse bietet das Härteprüfgerät der Firma Zwick GmbH & Co aus Ulm (siehe Abb. 4, Seite 19.)

Bei der Härtemessung nach Brinell gilt:

$$H_B = \frac{2F}{\pi d(d - \sqrt{d^2 - D^2})}$$

H_B Brinellhärte

d Durchmesser der Kugel

F Kraft, mit der die Kugel gegen die Prüfoberfläche gedrückt wird

D Durchmesser des Eindrucks (Kugelkalotte),

5. Gesamtbild

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1 Ständer | 10 Meßuhr |
| 2 Gewindestift | 11 Deckel |
| 3 Prüfkraft-Belastungsgehänge | 12 Vorkraft-Bedienungshebel |
| 4 Vorkraft-Ergänzungsgewichte | 13 Prüfkraft-Bedienungshebel |
| 5 Prüfkraft-Ergänzungsgewichte | 14 Schutzkappe |
| 6 Gewichtsaufnahmeteller | 15 Halter mit Eindringkörper |
| 7 Ölbremse | 16 Auflagetisch |
| 8 Fußschraube | 17 Handrad |
| 9 Fußteller | 18 Zustellspindel |

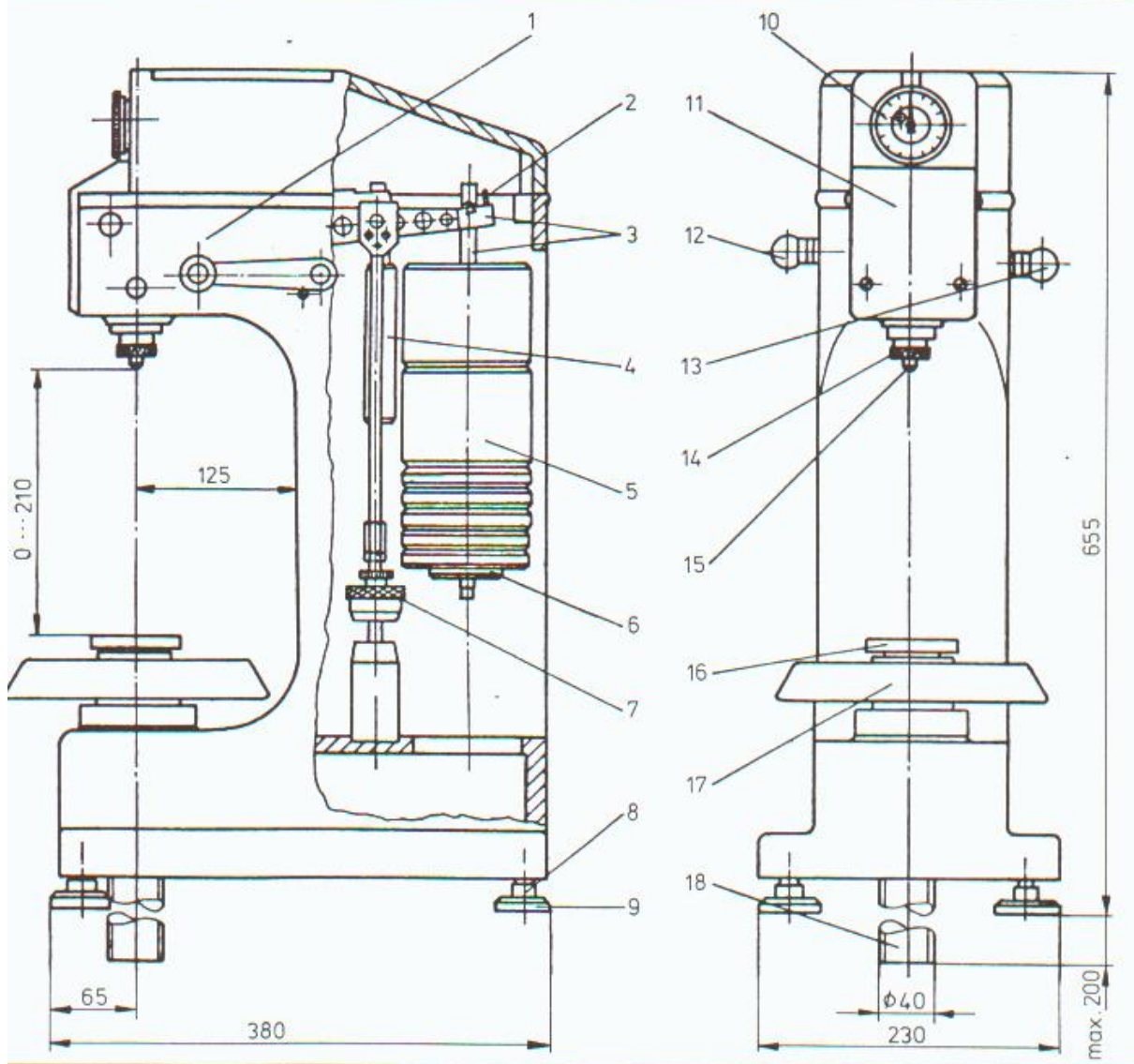


Abb. 4: Aufbau der Werkstoff-Prüfmaschine Zwick 3106 B

(Quelle: BETRIEBSANLEITUNG für ZWICK PRÜFMASCHINEN, 1989)

Nach dem Standardhärteprüfverfahren der Firma Dentona erfolgt der Eindruckversuch nach DIN 1168

- der Eindringkörper ist eine gehärtete Stahlkugel mit 10 mm Durchmesser
- die Vorkraft F_0 beträgt 10 N
- die Prüfkraft F_1 beträgt nach oben genanntem Standardhärteprüfverfahren für:
 - arti-base[®] 60 = 200N
 - dento-dur[®] 110 = 500N
 - esthetic-base[®] 300 = 500N

Durchführung:

Die Härte wird über die Eindringtiefe der definiert belasteten Kugel bestimmt und in N/mm^2 angegeben. Jeweils ein Probekörper wird mit der zu messenden Fläche nach oben in das Härteprüfgerät so eingelegt, dass die Stahlkugel jeweils bei den Viertelpunkten der Längsachse aufgesetzt wird und dann innerhalb von 2 Sekunden mit der Prüfkraft F_1 belastet wird. Die Belastungsdauer beträgt 15 Sekunden. Die bleibende Eindringtiefe des durch die Prüfkraft verursachten Eindrucks wird 15 Sekunden nach Wegnahme der Prüfkraft F_1 mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,002$ cm bestimmt. An den Flächen eines Probekörpers wird jeweils 3 mal die Kugeldruckhärte bestimmt. Die entsprechende Eindringtiefe der Stahlkugel wird an der Messuhr abgelesen. Anhand einer Tabelle (siehe Seite 65) wird der Eindringtiefe der Stahlkugel in den Prüfkörper der entsprechende Härtewert zugeordnet.

3.2.4 Dimensionsverhalten (Expansion)

Ein bewährtes Gerät zur Ermittlung der linearen Abbindeexpansion ist das Extensometer. Es dient entsprechend DIN EN ISO 6873 sowohl der Herstellung eines 100 mm langen Probekörpers als auch der Versuchsdurchführung. Es war ein spezielles Extensometer, hergestellt in der Werkstatt des Institutes für Medizinische Physik (Direktor: Prof. Dr. rer. nat. habil. U. Cobet †) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, aus Kunststoff erforderlich. Ein herkömmliches Extensometer aus Metall nach DIN EN ISO 6873 ist für die Versuchsreihe mit Mikrowellenstrahlen nicht geeignet, da Metalle Mikrowellenstrahlen reflektieren. Des Weiteren war aufgrund der geringen Platzverhältnisse im Drucktopf ein abnehmbarer Messtrog notwendig. Der abnehmbare Messtrog des Extensometers ist in einem definierten Abstand von 10 mm zur Messuhr positionierbar. Dies ist notwendig, um den abnehmbaren Messtrog immer wieder im gleichen Abstand zur Messuhr zu positionieren.

Im Rahmen der Vorversuche wurde dieses individuelle Extensometer auf Messgenauigkeit mit einem DIN gerechten Gerät verglichen und es ergaben sich keinerlei Abweichungen. Das für die Versuche verwendete Extensometer besitzt eine Messuhr zur Messung der Längenänderung mit einer Genauigkeit von 0,015 mm und übt eine Messkraft von höchstens 0,8 N aus. Der innere Messtrogquerschnitt besteht aus einem Rechteck, welches eine Breite von 20 mm, eine Höhe von 10 mm und eine Länge von 100 mm aufweist. Somit ergibt sich ein Probekörper von 100 mm Länge, 20 mm Breite und 10 mm Höhe. Der Messtrog besitzt einen beweglichen Schenkel, welcher eine Expansion des Gipses zulässt und diese an die Messuhr weiterleitet, an welcher dann die Expansionswerte abgelesen werden.

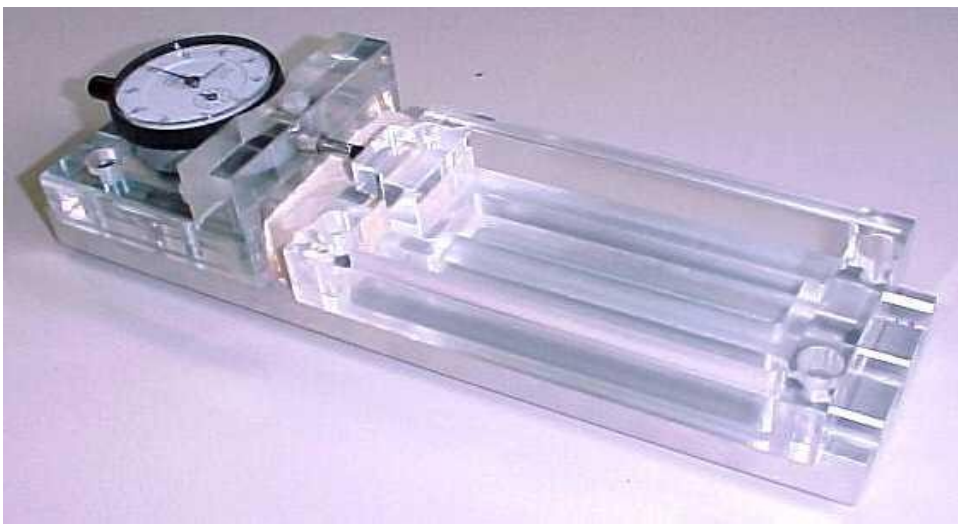


Abb. 5: Spezielles, teilbares Extensometer aus Akrylmaterial, hergestellt in der Werkstatt des Institutes für Medizinische Physik in Halle

3.3. Vorversuche:

Anhand der Vorversuche sollte der Versuchsablauf getestet und koordiniert werden. Weiterhin war zu prüfen, unter welchen Versuchsbedingungen,

- 1) Expansions- und Härtewertermittlung bei 1 bar oder 2 bar Überdruck sowie
- 2) Expansions- und Härtewertermittlung bei 400 Watt oder 500 Watt Mikrowellenleistung, die Hauptversuche durchzuführen sind.

Aus den Voruntersuchungen war zu erkennen, dass die Gipsproben erst nach Erreichen des Erstarrungszeitpunktes des Gipses den Mikrowellenstrahlen ausgesetzt werden konnten. Da die Proben bei einer Mikrowellenstrahlenexposition vor Erreichen des jeweiligen Erstarrungszeitpunktes explodierten. Dies ist durch den zu Beginn noch ungebundenen hohen

Wasseranteil im Gipsbrei zu erklären, welcher durch den Einfluss der Mikrowellenstrahlen zu sieden beginnt, sich dadurch ausdehnt und somit den Gipsprobekörper aus seiner Form sprengt. Der Erstarrungspunkt für arti-base[®] 60 ist bei 4 Minuten, für dento-dur[®] 110 bei 8 Minuten und für esthetic-base[®] 300 bei 12 Minuten nach Anmischbeginn ermittelt worden. Des Weiteren ging aus den Vorversuchen hervor, dass die Härtemessungen nach dem Erreichen des jeweiligen Erstarrungszeitpunktes noch keine mit der Zwick Werkstoff-Prüfmaschine messbaren Ergebnisse lieferten.

Die ersten mit der Zwick Werkstoff-Prüfmaschine messbaren Ergebnisse konnten für:

- arti-base[®] 60 nach 10 Minuten
- dento-dur[®] 110 nach 14 Minuten
- esthetic-base[®] 300 nach 14 Minuten

ab dem Zeitpunkt des Ausgießens der Probekörper ermittelt werden.

Für die Entscheidung, ob die Versuche unter 1 bar, 2 bar bzw. bei 400 Watt oder 500 Watt durchzuführen sind, wurde die Expansion und Härteentwicklung an dento-dur[®] 110 beobachtet. Die Expansionswerte von dento-dur[®] 110 zeigten über einen Versuchszeitraum nach 14; 30 und 40 Minuten keine signifikanten Unterschiede sowohl bei einem Überdruck von 1 bar und bei 2 bar als auch unter dem Einfluss von Mikrowellenstrahlung bei 400 Watt und bei 500 Watt. Ebenso ergaben die ermittelten Härtewerte nach 14; 30 und 40 Minuten keine signifikanten Unterschiede bei den verschiedenen Druckstufen bzw. Mikrowellenleistungsstufen. Um genau zu prüfen, ob Mikrowellenstrahlung oder Druck über einen längeren Versuchszeitraum einen Einfluss auf die Härteentwicklung und Expansionsentwicklung haben, wurden die Versuchsbedingungen für die Hauptversuche bei 1 bar und 500 Watt festgelegt.

3.4. Hauptversuche:

Ermittlung der Brinellhärte unter Standardbedingungen

Als Prüfkörper dienten zylindrische Gipskörper mit einem Durchmesser von 30 mm und einer Höhe von 10 mm. Für die drei zu prüfenden Dentalgipse wurde der Gipsbrei unter Standardbedingungen entsprechend der nachfolgend auszugsweise zitierten Herstellervorschrift verarbeitet.

1. Abmessen und Vorlegen von entionisiertem Wasseranteil.
2. Gipspulver abwiegen, einstreuen und 20 bis 30 Sekunden sumpfen lassen.
3. Gipsbrei von Hand sorgfältig durchspateln bis ein homogener Gipsbrei vorliegt.

Anschließend wurden die Gipsbreie arti-base[®] 60, dento-dur[®] 110 und esthetic-base[®] 300 für 60 Sekunden maschinell im Vakuummischer gemischt (HIEGEMANN, 2003 b). Zur Herstellung der Probekörper wurde der Gipsbrei in auf Glasplatten ruhende Gummiringe mittels des Rüttlers Combi labor[®] CL-R2 der Firma Heraeus Kulzer eingerüttelt und mit einer weiteren Glasplatte abgedeckt. Die der unteren Glasplatte zugekehrte Seite der Prüfkörper entsprach der zu messenden Fläche.

Unter Standardbedingungen, das heißt:

-Raumtemperatur = $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$

-Temperatur des Gipspulvers = $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$

-Temperatur des Anmischwassers (entionisiert) = $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$

-relative Luftfeuchtigkeit = $54 \pm 2\%$

erfolgte nach dem Erreichen des Erstarrungszeitpunktes, welcher für arti-base[®] 60 nach Herstellerangaben bei 4 Minuten, für dento-dur[®] 110 bei 8 Minuten und für esthetic-base[®] 300 bei 12 Minuten liegt, die ersten Härtemessungen. Diese lieferten jedoch, wie in den Vorversuchen festgestellt, noch keine mit der Zwick Werkstoff-Prüfmaschine messbaren Ergebnisse. Die ersten messbaren Ergebnisse konnten für arti-base[®] 60 nach 10 Minuten, für dento-dur[®] 110 und für esthetic-base[®] 300 nach 14 Minuten ab dem Zeitpunkt des Ausgießens der Probekörper ermittelt werden. Weitere Messungen erfolgten in einem Intervall von je 2 Minuten bis zum Ablauf von 20 Minuten nach dem Zeitpunkt des Ausgießens der Probekörper. Nach Ablauf dieser 20 Minuten erfolgten die Messungen in einem Intervall von je 5 Minuten bis zum Ablauf einer Zeitdauer von 2 Stunden nach dem Zeitpunkt des Ausgießens. Die letzte Messung erfolgte 24 Stunden (entspricht 1440 Minuten) nach dem Zeitpunkt des Ausgießens der Probekörper.

Bei der Härtebestimmung der Gipstypen wurden jeweils in Anlehnung an DIN 1168 drei Messwerte pro Prüfkörper ermittelt.

Da die Streuung der Härtewerte in den Voruntersuchungen gering war, wurde die Messung der Härtezunahme jedes Gipstyps auf 5 Versuchsreihen beschränkt.

Ermittlung der Brinellhärte unter Überdruck

Die Härteermittlung, der mit 1 bar Überdruck behandelten Prüfkörper erfolgte zeitlich analog zu oben genanntem Ablauf.

Tab.4: Zeitablauf der Härtemessung unter Überdruck

arti-base [®] 60			dento-dur [®] 110			esthetic-base [®] 300		
Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Druck [min]	Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Druck [min]	Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Druck [min]
1	10	10						
2	12	12						
3	14	14	1	14	14	1	14	14
4	16	16	2	16	16	2	16	16
5	18	18	3	18	18	3	18	18
6	20	20	4	20	20	4	20	20
7	25	25	5	25	25	5	25	25
8	30	30	6	30	30	6	30	30
8	35	30	6	35	30	6	35	30
8	40	30	6	40	30	6	40	30
8	45	30	6	45	30	6	45	30
8	50	30	6	50	30	6	50	30
8	55	30	6	55	30	6	55	30
8	60	30	6	60	30	6	60	30
8	65	30	6	65	30	6	65	30
8	70	30	6	70	30	6	70	30
8	75	30	6	75	30	6	75	30
8	80	30	6	80	30	6	80	30
8	85	30	6	85	30	6	85	30
8	90	30	6	90	30	6	90	30
8	95	30	6	95	30	6	95	30
8	100	30	6	100	30	6	100	30
8	105	30	6	105	30	6	105	30
8	110	30	6	110	30	6	110	30
8	115	30	6	115	30	6	115	30
8	120	30	6	120	30	6	120	30
8	1440	30	6	1440	30	6	1440	30

Die ersten messbaren Ergebnisse konnten auch hier für arti-base[®] 60 nach 10 Minuten, für dento-dur[®] 110 und für esthetic-base[®] 300 nach 14 Minuten ab dem Zeitpunkt des Ausgießens der Probekörper ermittelt werden.

Da die Verwendung des immer gleichen Prüfkörpers eine häufige Unterbrechung der Messbedingungen bewirkt hätte, wurden für diesen Versuch mehrere Probekörper verwendet. Dies war erforderlich, um die Härteentwicklung unter Einfluss des Druckes von 1 bar über einen Zeitraum von 30 Minuten nach dem Zeitpunkt des Ausgießens der Probekörper bestimmen zu können. Die erste messbare Gipsprobe wurde nach 10 bzw. 14 Minuten Druckeinwirkung dem Drucktopf entnommen und die Härte bestimmt. Danach wurde der nächste Probekörper gegossen und für eine Zeitdauer von 12 bzw. 16 Minuten dem Druck ausgesetzt und die Härte anschließend bestimmt. Dieser Prüfablauf wiederholte sich entsprechend für die in Tabelle 4 angegebenen Prüfzeiten. Der letzte Prüfkörper wurde nach 30 Minuten dem Drucktopf entnommen und die Härte des Gipses an diesem weiter gemessen. Bei der Härtebestimmung der Gipstypen wurden jeweils in Anlehnung an DIN 1168 drei Messwerte pro Prüfkörper ermittelt.

Ermittlung der Brinellhärte unter Mikrowellenstrahleneinfluss:

Nach dem Erreichen des Erstarrungszeitpunktes des jeweiligen Gipstyps wurden die Proben für 30 Minuten den Mikrowellenstrahlen bei 500 Watt ausgesetzt. Die Ermittlung der Messwerte für arti-base[®] 60 erfolgte so, dass nach dem Einfüllen des Gipsbreies der Probekörper bis zum Erreichen des Erstarrungszeitpunktes, welcher für arti-base[®] 60 bei 4 Minuten liegt, gewartet wurde und anschließend der Probekörper einer Mikrowellenstrahlung von 500 Watt ausgesetzt wurde. Der erste Messwert wurde notiert nach dem Erstarrungszeitpunkt 4 Minuten + Mikrowelleneinwirkung 2 Minuten. Danach erfolgte die Herstellung eines neuen Prüfkörpers. Die Herstellung neuer Prüfkörper war erforderlich, da die Verwendung des immer gleichen Prüfkörpers eine häufige Unterbrechung der Messbedingungen bewirkt hätte. Der neu hergestellte Probekörper wurde dann erneut einer Mikrowellenstrahlung von 500 Watt ausgesetzt und der 2. Messwert dann nach dem Erstarrungszeitpunkt 4+ Mikrowelleneinwirkung von 4 Minuten ermittelt (zeitlicher Ablauf siehe Tabelle 5). Der letzte Prüfkörper wurde nach 30 Minuten der Mikrowelle entnommen und die Härte des Gipses an diesem Prüfkörper weiter ermittelt. Der gleiche Testablauf wiederholte sich für dento-dur[®] 110, und esthetic-base[®] 300 unter Berücksichtigung der verschiedenen Erstarrungszeiten.

Bei der Härtebestimmung der Gipstypen wurden jeweils in Anlehnung an DIN 1168 drei Messwerte pro Prüfkörper ermittelt.

Tab.5: Zeitablauf der Härtemessung unter Mikrowellenstrahleneinfluss

arti-base® 60			dento-dur® 110			esthetic-base® 300		
Proben - körper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Mikrowelle [min]	Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Mikrowelle [min]	Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Mikrowelle [min]
1	10	6						
2	12	8						
3	14	10	1	14	6	1	14	2
4	16	12	2	16	8	2	16	4
5	18	14	3	18	10	3	18	6
6	20	16	4	20	12	4	20	8
7	25	20	5	25	14	5	25	10
8	30	25	6	30	20	6	30	15
9	35	30	7	35	25	7	35	20
9	40	30	8	40	30	8	40	25
9	45	30	8	45	30	9	45	30
9	50	30	8	50	30	9	50	30
9	55	30	8	55	30	9	55	30
9	60	30	8	60	30	9	60	30
9	65	30	8	65	30	9	65	30
9	70	30	8	70	30	9	70	30
9	75	30	8	75	30	9	75	30
9	80	30	8	80	30	9	80	30
9	85	30	8	85	30	9	85	30
9	90	30	8	90	30	9	90	30
9	95	30	8	95	30	9	95	30
9	100	30	8	100	30	9	100	30
9	105	30	8	105	30	9	105	30
9	110	30	8	110	30	9	110	30
9	115	30	8	115	30	9	115	30
9	120	30	8	120	30	9	120	30
9	1440	30	8	1440	30	9	1440	30

Ermittlung des Dimensionsverhaltens unter Standardbedingungen:

Wie auf Seite 21 und 22 beschrieben, wurde der Dentalgips nach Herstellervorschrift unter Standardbedingungen angemischt.

Im Anschluss daran wurde jeweils ein Messtrog entsprechend DIN EN ISO 6873 mit einem Trennmittel auf Silikonbasis benetzt und der Gipsbrei eingefüllt.

Die so gefüllten Mesströge erhielten nun gemäß DIN EN ISO 6873 eine Abdeckung aus PTFE-Folie (Polytetrafluorethylen-Folie).

Anschließend wurde die Messuhr auf Null gestellt und der erste Messwert mit Null notiert. Weitere Messungen erfolgten in einem Intervall von je 2 Minuten bis zum Ablauf von 20 Minuten nach dem Zeitpunkt des Ausgießens der Probekörper. Nach Ablauf dieser 20 Minuten erfolgten die Messungen in einem Intervall von je 5 Minuten bis zum Ablauf einer Zeitdauer von 130 Minuten nach dem Zeitpunkt des Ausgießens (siehe Tabelle 6).

Eine Ermittlung der Expansionswerte über einen Zeitraum von 24 Stunden wie bei den Härtemessungen war hier nicht notwendig, da 120 Minuten nach Anmischbeginn der Dentalgips nicht mehr expandiert bzw. kontrahiert. Da in den Voruntersuchungen die Streuung der Expansionswerte gering war, wurden die Messungen der Expansionswerte jedes Gipstyps jeweils auf fünf Versuchsreihen beschränkt.

Ermittlung des Dimensionsverhaltens unter Überdruck:

Zur Ermittlung der Expansionswerte unter Überdruck wurde der Gipsbrei nach dem Befüllen des Extensometers in Stufen bis zu 30 Minuten lang einem Überdruck von 1 bar ausgesetzt.

Die Ermittlung der Expansionswerte erfolgte zeitlich analog zu oben genanntem Ablauf des Standardversuches. Da die Verwendung des immer gleichen Prüfkörpers eine häufige Unterbrechung der Messbedingungen bewirkt hätte, wurden wie in der Versuchsreihe der Härteprüfung, für diesen Versuch mehrere Probekörper verwendet. Dies war erforderlich, um die Expansionsentwicklung unter Einfluss des Druckes von 1 bar über einen Zeitraum von 30 Minuten nach dem Zeitpunkt des Ausgießens der Probekörper bestimmen zu können.

Tab. 6: Zeitablauf der Expansionsmessung unter Standardbedingungen bzw. unter Überdruck

arti-base® 60			dento-dur® 110			esthetic-base® 300		
Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Druck [min]	Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Druck [min]	Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Druck [min]
1	0	0	1	0	0	1	0	0
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	4	4	3	4	4	3	4	4
4	6	6	4	6	6	4	6	6
5	8	8	5	8	8	5	8	8
6	10	10	6	10	10	6	10	10
7	12	12	7	12	12	7	12	12
8	14	14	8	14	14	8	14	14
9	16	16	9	16	16	9	16	16
10	18	18	10	18	18	10	18	18
11	20	20	11	20	20	11	20	20
12	25	25	12	25	25	12	25	25
13	30	30	13	30	30	13	30	30
13	35	30	13	35	30	13	35	30
13	40	30	13	40	30	13	40	30
13	45	30	13	45	30	13	45	30
13	50	30	13	50	30	13	50	30
13	55	30	13	55	30	13	55	30
13	60	30	13	60	30	13	60	30
13	65	30	13	65	30	13	65	30
13	70	30	13	70	30	13	70	30
13	75	30	13	75	30	13	75	30
13	80	30	13	80	30	13	80	30
13	85	30	13	85	30	13	85	30
13	90	30	13	90	30	13	90	30
13	95	30	13	95	30	13	95	30
13	100	30	13	100	30	13	100	30
13	105	30	13	105	30	13	105	30
13	110	30	13	110	30	13	110	30
13	115	30	13	115	30	13	115	30
13	120	30	13	120	30	13	120	30
13	125	30	13	125	30	13	125	30
13	130	30	13	130	30	13	130	30

Die Ermittlung der Messwerte erfolgte so, dass nach dem Einfüllen des Gipsbreies in den Messtrog der einzelne Probekörper dem Druck ausgesetzt wurde. Nach 2 Minuten wurde der Messtrog mit Probekörper aus dem Drucktopf entnommen, auf dem Extensometer positioniert und der Expansionswert notiert. Anschließend wurde erneut ein Prüfkörper hergestellt, dieser

einem Druck für 4 Minuten ausgesetzt und anschließend die Expansion ermittelt. Dieser Prüfablauf wiederholte sich entsprechend den in Tabelle 6 beschriebenen Zeiten. Der letzte Prüfkörper wurde nach 30 Minuten dem Drucktopf entnommen und die Expansion des Gipses ermittelt. Die weiteren Messungen bis zum Ablauf von 130 Minuten erfolgten dann an demselben Probekörper in einem Intervall von 5 Minuten.

Ermittlung des Dimensionsverhaltens unter Mikrowellenstrahleneinfluss:

Bei der Versuchsreihe, bei der der zu untersuchende Gipsbrei einer Exposition von Mikrowellenstrahlen ausgesetzt war, wurde der Dentalgips in der bisher beschriebenen Weise verarbeitet.

Nach dem Erreichen des Erstarrungszeitpunktes des jeweiligen Gipstyps wurden die Proben stufenweise bis zu 30 Minuten den Mikrowellenstrahlen bei 500 Watt ausgesetzt.

Die Ermittlung der Expansionsmesswerte für arti-base[®] 60 erfolgte so, dass nach dem Einfüllen des Gipsbreies in den Messtrog die Messuhr auf Null gestellt wurde und die Expansionswerte der 1. 2. und 3. Messung bis zum Erreichen des Erstarrungszeitpunktes, welcher für arti-base[®] 60 bei 4 Minuten liegt, abgelesen wurden. Nach dem Erreichen des Erstarrungszeitpunktes wurde anschließend der Messtrog mit Probekörper der Mikrowellenstrahlung ausgesetzt. Anschließend wurde der Messtrog mit Probekörper der Mikrowelle entnommen und wieder auf dem Extensometer positioniert. Danach wurde der 4. Expansionswert nach dem Erstarrungszeitpunkt 4 Minuten + Mikrowelleneinwirkung von 2 Minuten notiert. Der hiernach neu hergestellte Probekörper wurde dann erneut der Mikrowellenstrahlung ausgesetzt und der darauf folgende 5. Messwert dann nach dem Erstarrungszeitpunkt 4 + 4 Minuten notiert (siehe Tabelle 7).

Nach einer Behandlung der Probekörper mit 30 Minuten Mikrowellenstrahlung wurden anhand des letzten Probekörpers die Härtemesswerte alle 5 Minuten notiert. Die weiteren Messungen bis zum Ablauf von 130 Minuten erfolgten an diesem Probekörper in einem Intervall von 5 Minuten.

Der gleiche Testablauf wiederholte sich für dento-dur[®] 110, und esthetic-base[®] 300 unter Berücksichtigung der verschiedenen Erstarrungszeiten.

Tab. 7: Zeitablauf der Expansionsmessung unter Mikrowellenstrahlung

arti-base® 60			dento-dur® 110			esthetic-base® 300		
Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Mikrowelle [min]	Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Mikrowelle [min]	Probenkörper Nr.	Zeitpunkt der Messung [min]	Einwirkzeit Mikrowelle [min]
1	0		1	0		1	0	
1	2		1	2		1	2	
1	4		1	4		1	4	
1	6	2	1	6		1	6	
2	8	4	1	8		1	8	
3	10	6	1	10	2	1	10	
4	12	8	2	12	4	1	12	
5	14	10	3	14	6	1	14	2
6	16	12	4	16	8	2	16	4
7	18	14	5	18	10	3	18	6
8	20	16	6	20	12	4	20	8
9	25	20	7	25	15	5	25	10
10	30	25	8	30	20	6	30	15
11	35	30	9	35	25	7	35	20
11	40	30	10	40	30	8	40	25
11	45	30	10	45	30	9	45	30
11	50	30	10	50	30	9	50	30
11	55	30	10	55	30	9	55	30
11	60	30	10	60	30	9	60	30
11	65	30	10	65	30	9	65	30
11	70	30	10	70	30	9	70	30
11	75	30	10	75	30	9	75	30
11	80	30	10	80	30	9	80	30
11	85	30	10	85	30	9	85	30
11	90	30	10	90	30	9	90	30
11	95	30	10	95	30	9	95	30
11	100	30	10	100	30	9	100	30
11	105	30	10	105	30	9	105	30
11	110	30	10	110	30	9	110	30
11	115	30	10	115	30	9	115	30
11	120	30	10	120	30	9	120	30
11	125	30	10	125	30	9	125	30
11	130	30	10	130	30	9	130	30

Die Expansionswerte jedes Gipstyps wurden in 5 Versuchsreihen ermittelt.

3.5. Mikroporositäten

Mikroskopische Analyse

Ziel dieser Analyse war es, zu überprüfen, ob Überdruck einen positiven Einfluss auf Lufteinschlüsse in Form von Luftblasen im Gipsprüfkörper hat. Zur mikroskopischen Analyse wurde ein Auflichtmikroskop eingesetzt, das freundlicherweise die Firma Molex Elektronik GmbH in Ettlingen zur Verfügung gestellt hat. Hierbei handelt es sich um ein „Metallurgical Mikroskope OPTI PHOT“ (Nikon, Japan), welches mit der „Digital HYPER HAD Color Video Camera“ (Sony, Japan) und dem Computerprogramm Cyper View 2.5 (Cervus international, Quebec, Kanada) zur digitalen Bildbearbeitung vernetzt ist. Der Vergrößerungsfaktor wurde mit 20 und das Messfeld des Auflichtmikroskops mit den Maßen 3,2 mm x 2,28 mm festgelegt. Dies ermöglichte eine optimale Vergrößerung und Durchmesserbestimmung der im Gipskörper eingeschlossenen Luftblasen.



Abb. 6: Arbeitsplatz mit Auflichtmikroskop, digitaler Kamera und angeschlossenem Computer

Mit der Digitalkamera und dem Computerprogramm zur digitalen Bildbearbeitung wurde der Durchmesser der Luftblasen computergestützt ermittelt. Es wurden mikroskopische

Aufnahmen der Gipsprüfkörper der drei verschiedenen Dentalgipse angefertigt, welche sowohl unter Standardbedingungen als auch unter dem Einfluss von Überdruck hergestellt wurden. Hierfür wurden die gleichen Gipsprüfkörper der Hauptversuchen verwendet. Es wurden jeweils drei mikroskopische Aufnahmen von der Prüfkörperoberfläche und drei Aufnahmen von der plangeschliffenen Trennfläche aus dem Inneren des Probekörpers aufgenommen. Dazu wurde der Prüfkörper durchsägt und die Trennfläche mit Sandpapier grober Körnung von 320 und anschließend mit feiner Körnung von 1200 für jeweils 10 Sekunden geschliffenen. Für die Aufnahmen aus dem Inneren der Gipskörper wurden diese jeweils zwei Mal mit einer Metallsäge durchtrennt und mikroskopisch analysiert. Relevant war hierbei die Anzahl und der mittlere Flächeninhalt der Luftblasen. Die Auswahl der zu analysierenden Bereiche erfolgt nach dem Zufallsprinzip.

Hinzufügend muss festgehalten werden, dass die Lufteinschlüsse in Form von Luftblasen in den Prüfkörpern eine dreidimensionale Ausdehnung haben und der Durchmesser der Luftblasen immer in Abhängigkeit vom jeweiligen Anschnitt der Blase variiert und die Datenerhebung zur lichtmikroskopischen Analyse anhand von Stichproben erfolgte.

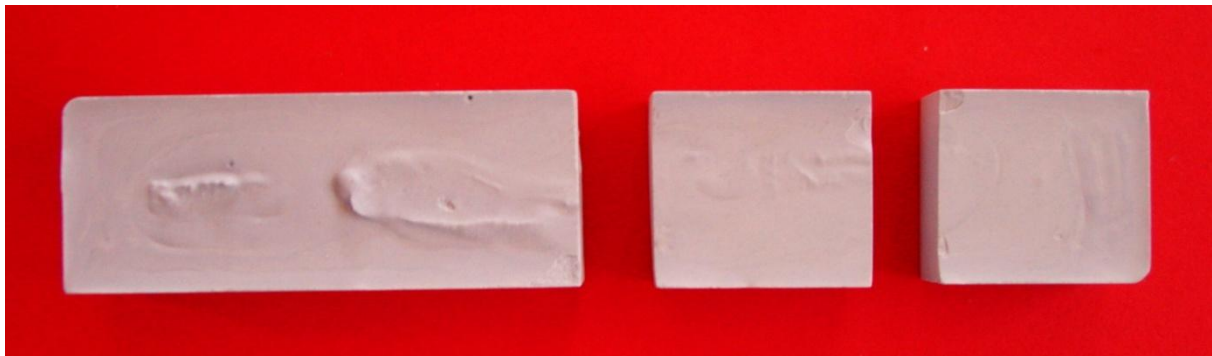


Abb. 7: Zweifach durchtrennter Probekörper für die mikroskopische Analyse aus *dento-dur*[®] 110 . Zu sehen ist die Probekörperoberfläche

3.6. Statistische Auswertung

In der vorliegenden Arbeit geht es um die Wirksamkeit zweier Verfahren zum Aushärten von Gips im Vergleich zu herkömmlichen Technologien. In diesem Fall wurde die Hypothese getestet, wonach zwischen den Technologien im Ergebnis kein Unterschied besteht (Nullhypothese). Führt der Test zur Annahme der Hypothese, so ist das herkömmliche Verfahren, anderenfalls das effizientere Verfahren zu bevorzugen. Die Ergebnisse der gemessenen Daten der Proben, die mittels Druck oder Mikrowellen ausgehärtet worden sind, verglichen mit denen aus dem Standardverfahren sind in ihrer Häufigkeit gleichmäßig verteilt.

Es gilt die Annahme $p = 50\% = 0,5$ Aushärten mittels Druck (bzw. Mikrowelle) und

q= 50% = 0,5 Aushärten ohne Druck (bzw. Mikrowelle)

Trifft diese Annahme zu, so ist zu erwarten, dass ungefähr die Hälfte aller Messwerte, inklusive der ermittelten beim Standardverfahren, p zuzuordnen sind. Ebenso verhält es sich, wenn man q mit dem Normverfahren vergleicht. Weicht die Zahl zu sehr von der Hälfte ab, so kann man annehmen, dass die Hypothese nicht richtig ist. Diese Abweichung (c) bezeichnet man als kritischen Wert bei einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit. Um die statistische Signifikanz der Expansionswerte und der Härtewerte zwischen den diversen Prüfgruppen zu untersuchen, wurde der kritische Wert c' anhand unten stehender Formel berechnet. Wobei eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01 (α) als Signifikanzniveau gewählt wurde.

$$c' = \alpha * \sqrt{\sigma^2} + \bar{x}$$

(KREYSZIG, 1975)

- c' kritischer Wert
- σ^2 = n · p · q
- n Gesamtzahl der Messwerte
- p ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Messwerte unter Druck- und Mikrowelleneinwirkung genauso groß sind wie die Werte unter Standardbedingungen
- q = 1-p
- α Irrtumswahrscheinlichkeit von 1%

Die Härte und- Expansionswerte zweier zu vergleichender Prüfgruppen unterscheiden sich dann signifikant voneinander, wenn der berechnete kritische Wert c kleiner oder gleich dem Vergleichswert ist (KREYSZIG, 1975).

Des Weiteren wurden die Messwerte der einzelnen Prüfgruppen als Mittelwerte errechnet und als Grundlage für die graphische Darstellung verwendet. Der Standardfehler wurde nach unten stehender Formel ermittelt.

$$\bar{x} = \Sigma x/n$$

\bar{x} Mittelwert

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

n Anzahl der Einzelwerte

S Standardfehler

X Einzelwerte

Die Berechnung des Flächeninhaltes A der Luftblasen erfolgte mittels der Formel:

$$A = \pi \cdot r^2$$

Π Kreiszahl

r Radius

4. Ergebnisse

4.1 Brinellhärte, Expansion und mikroskopische Analyse des Artikulationsgipses

Die bei der **Brinell-Härteprüfung** ermittelten Werte sind der Tabelle 8 zu entnehmen.

Bei den Einzelmesswerten können durch Übertragung aus Tabellen keine linearen quantitativen Angaben gemacht werden. Zum Beispiel gibt es zwischen dem Messwert 53,1 N/mm² und 54 N/mm² keine Zwischenstufen. Die Ermittlung der Einzelmesswerte erfolgte anhand der Tabelle 19 auf Seite 65.

Tab. 8: Mittlere Brinellhärte für arti-base[®] 60 bei Belastung mit 200N unter Standardbedingungen, bei Überdruck von 1 bar und 500 Watt Leistung Mikrowellen in Abhängigkeit von der Zeit (t) nach Mischbeginn

t [min]	Standardwerte \bar{x} in N/mm ²	Überdruck \bar{x} in N/mm ²	Mikrowelle \bar{x} in N/mm ²
10	53,6	55,8	54,1
12	69,5	60,8	62,6
14	78,0	78,5	75,4
16	82,0	83,3	81,8
18	89,5	92,5	88,3
20	88,4	88,9	88,3
25	109,5	107,6	104,6
30	111,2	108,7	108,5
35	110,4	112,6	113,3
40	115,3	117,3	114,4
45	123,5	129,7	122,8
50	121,9	128,7	125,4
55	132,8	132,0	129,8
60	139,5	135,1	133,0
65	136,4	139,5	135,9
70	138,6	135,4	135,5
75	138,5	140,2	134,0
80	143,4	141,8	138,4
85	139,6	138,6	134,5
90	143,4	138,9	132,7
95	141,2	139,1	139,6
100	142,4	139,9	137,2
105	141,2	139,1	134,5
110	142,4	139,9	139,6
115	143,4	139,1	137,2
120	143,3	141,6	138,3
1440	148,0	145,5	147,1

Die bei der Brinell-Härteprüfung ermittelten Härtewerte der Probekörper sind folgender Abbildung zu entnehmen:

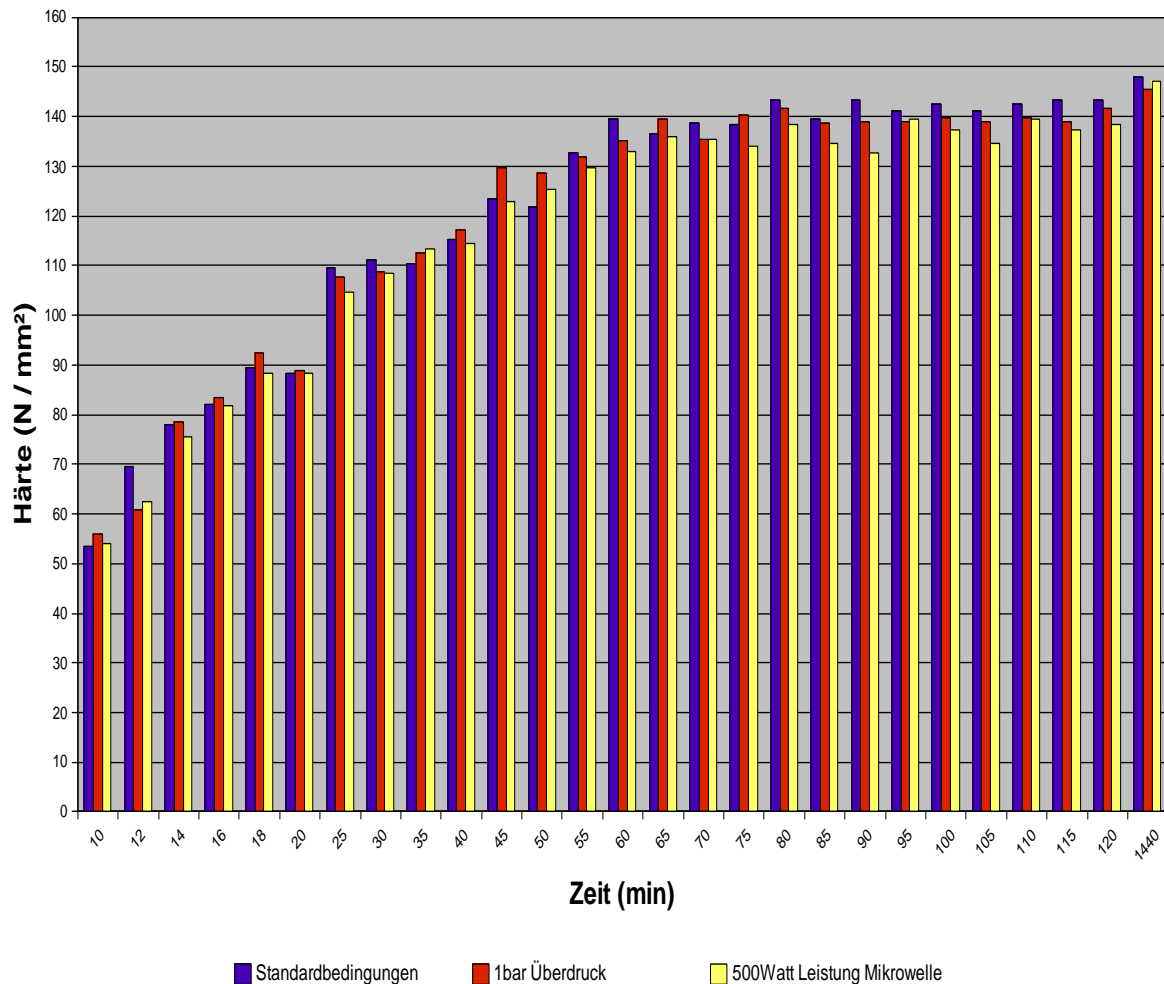


Abb. 8: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Härte in Abhängigkeit von der Zeit für Gips arti-base[®] 60 unter Standardbedingungen und unter Einfluss vom Druck bzw. Mikrowellenstrahlung

Obwohl die Härtewerte für die Standardbedingungen bis auf wenige Ausnahmen höher liegen, zeigt die statistische Auswertung, dass über einen Prüfzeitraum von 24 Stunden kein signifikanter Unterschied in der Härtezunahme bei den Prüfkörpern unter Überdruck und bei den Prüfkörpern unter Mikrowelleneinfluss zu erkennen ist. Auch die Endhärtewerte weisen nach 24 Stunden keinen Unterschied im Vergleich zu den Standardprüfkörpern auf. Somit ist erkennbar, dass weder Überdruck noch Mikrowellenstrahlung einen Einfluss auf die Härte des Artikulationsgipses arti-base[®] 60 haben.

Die bei der **Expansion** ermittelten Mittelwerte der Probekörper sind aus folgender Tabelle zu entnehmen.

Tab. 9: Expansion in % für arti-base[®] 60

Mittlere Expansionswerte unter Standardbedingungen, bei Überdruck von 1 bar und 500 Watt Leistung Mikrowelle in Abhängigkeit von der Zeit (t) nach Mischbeginn

t [min]	Standardwerte \bar{x} in %	Überdruck \bar{x} in %	Mikrowelle \bar{x} in %
0	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
4	0,005	0,005	0,005
6	0,010	0,010	0,010
8	0,010	0,010	0,013
10	0,015	0,015	0,015
12	0,015	0,015	0,015
14	0,020	0,020	0,020
16	0,020	0,020	0,020
18	0,025	0,023	0,023
20	0,025	0,023	0,023
25	0,025	0,025	0,025
30	0,030	0,028	0,028
35	0,030	0,030	0,030
40	0,035	0,033	0,033
45	0,035	0,033	0,033
50	0,037	0,033	0,033
55	0,037	0,033	0,033
60	0,037	0,033	0,033
65	0,037	0,033	0,033
70	0,037	0,033	0,033
75	0,037	0,033	0,033
80	0,037	0,033	0,033
85	0,037	0,033	0,033
90	0,037	0,033	0,033
95	0,037	0,033	0,033
100	0,037	0,033	0,033
105	0,037	0,033	0,033
110	0,037	0,033	0,033
115	0,037	0,033	0,033
120	0,037	0,033	0,033
125	0,037	0,033	0,033
130	0,037	0,033	0,033

Die bei der Expansion ermittelten Werte der Probekörper sind folgender Abbildung zu entnehmen:

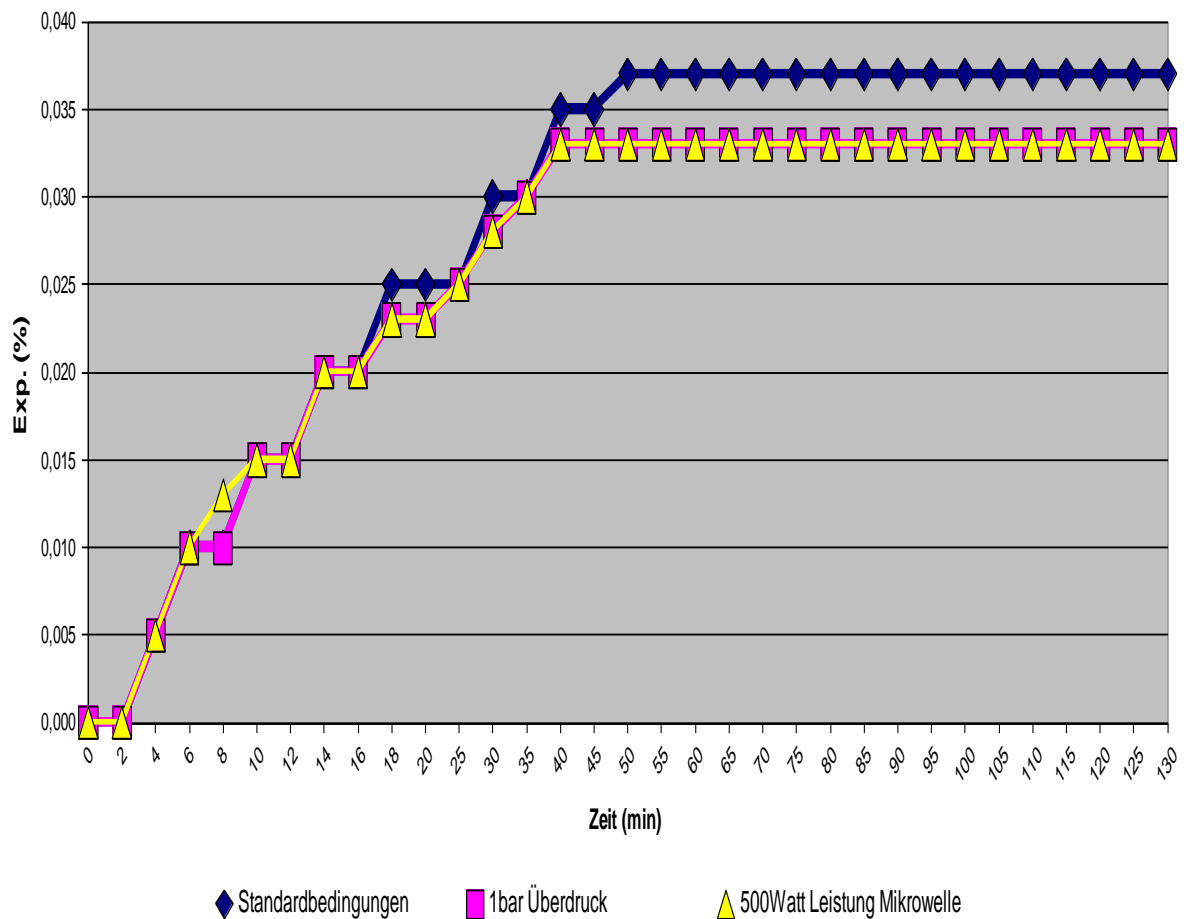


Abb. 9: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Expansion in Abhängigkeit von der Zeit für Gips arti-base[®] 60 unter Standardbedingungen und unter Einfluss von Druck oder Mikrowellenstrahlung

Die Expansionswerte der Probekörper, welche einem Überdruck von 1 bar bzw. einer Mikrowellenstrahlung von 500 Watt ausgesetzt waren, erreichten nach 130 Minuten nicht die Expansionswerte wie die unter Standardbedingungen hergestellten Prüfkörper. Sowohl der Einfluss von Überdruck, als auch der Einfluss von Mikrowellenstrahlen hat jedoch keinen statistisch signifikanten Effekt auf die Expansion des Dentalgipses arti-base[®] 60.

Mikroskopische Analyse:

Ziel war es, zu überprüfen, ob Überdruck einen Einfluss auf Lufteinschlüsse in Form von Luftblasen im Gipsprüfkörper hat. Der Vergrößerungsfaktor wurde mit 20 und das Messfeld des Auflichtmikroskopes mit den Maßen 3,2 x 2,28 festgelegt. Zur Veranschaulichung ist beispielhaft für jede Versuchsreihe ein Bild der lichtmikroskopischen Analyse dargestellt.

Die Abbildung 10 zeigt an der Oberfläche eines Prüfkörpers, welcher unter Standardbedingungen hergestellt wurde, zwei Luftblasen mit einem Flächeninhalt von 0,823 mm² und 0,762 mm². Im Vergleich ist dazu in Abbildung 11 auf der Prüfkörperoberfläche des unter Überdruck hergestellten Prüfkörpers eine Luftblase mit einem Flächeninhalt von 0,751 mm² zu erkennen.

Aufnahmen aus dem Inneren der Prüfkörper, welche unter Standardbedingungen hergestellt wurden, zeigen in Abbildung 12 vier Blasen mit einem Flächeninhalt von 0,031 bis 0,071 mm². In Abbildung 13 ist bei dem unter Überdruck hergestellten Probekörper eine Luftblase mit einem Flächeninhalt von 1,142 mm² zu erkennen.

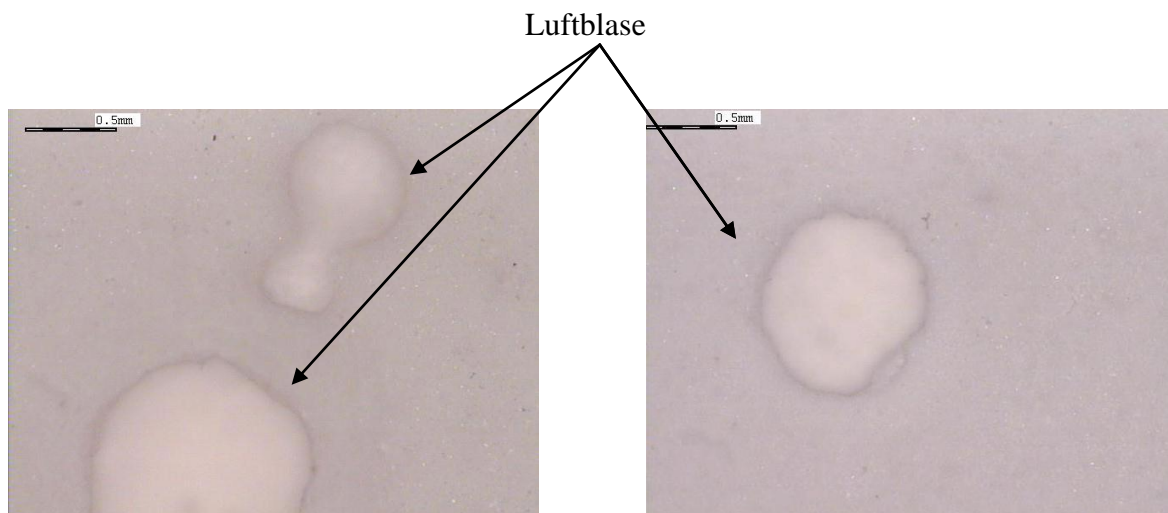


Abb. 10: arti-base[®] 60 Gipsstruktur der Probenoberfläche unter Standardbedingungen
Maßstab 1:28

Abb. 11: arti-base[®] 60 Gipsstruktur der Probenoberfläche unter einem Druck von 1bar
Maßstab 1:28

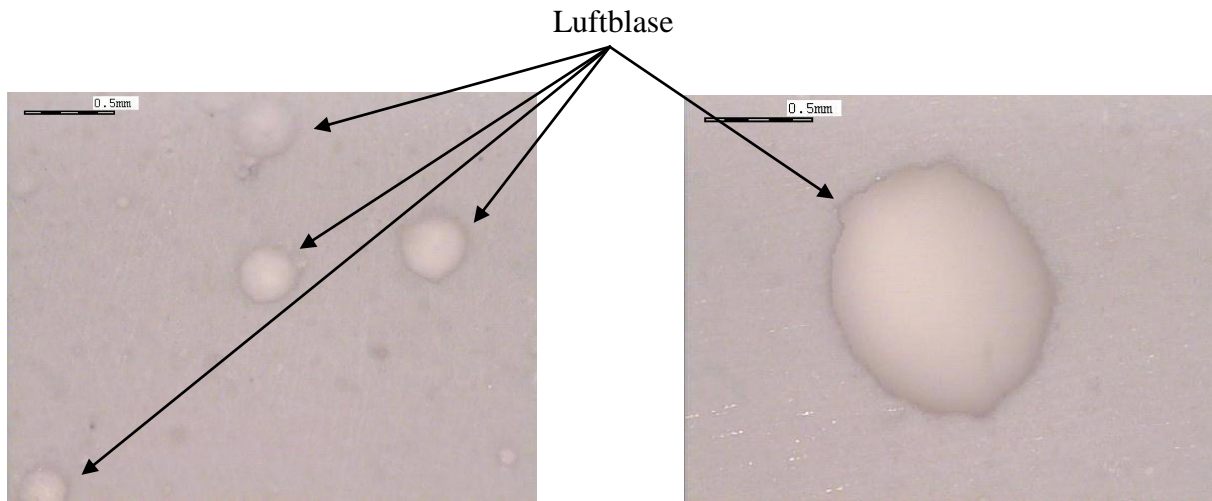


Abb. 12: arti-base[®] 60 Gipsstruktur eines Proben-Innenschliffs unter Standardbedingungen
Maßstab 1:28

Abb. 13: arti-base[®] 60 Gipsstruktur eines Proben-Innenschliffs unter einem Druck von 1 bar
Maßstab 1:28

Tab. 10: Mittelwertiger Flächeninhalt und Anzahl von Luftblasen der Probenkörperoberfläche und der Probenkörperinnenschliffe für arti-base[®] 60

		Probenoberfläche	Probeninnenschliffe
Standardbedingung	Anzahl der Blasen \bar{x}	2	4,5
	Flächeninhalt der Blasen (mm ²) \bar{x}	0,754	0,389
Überdruck = 1 bar	Anzahl der Blasen \bar{x}	1	2
	Durchmesser der Blasen (mm ²) \bar{x}	0,723	0,273

Unter dem Einfluss von 1 bar Überdruck war auf den Probekörpern die Anzahl der Lufteinschlüsse in Form von Luftblasen im Vergleich zu den Standardprobekörpern vermindert.

Der mittlere Flächeninhalt der Luftblasen unterscheidet sich jedoch nicht von den Probekörpern, welche unter Überdruck hergestellt wurden.

4.2 Brinellhärte, Expansion und mikroskopische Analyse des Hartgipses

Die bei der **Brinell-Härteprüfung** ermittelten Härtemittelwerte der Probekörper sind folgender Tabelle zu entnehmen.

Tab. 12: Mittlere Brinellhärte für dento-dur[®] 110 bei Belastung mit 500 N unter Standardbedingungen, bei Überdruck von 1 bar und 500 Watt Leistung Mikrowellen in Abhängigkeit von der Zeit (t) nach Mischbeginn

t [min]	Standardwerte \bar{x} in N/mm ²	Überdruck \bar{x} in N/mm ²	Mikrowelle \bar{x} in N/mm ²
14	52,1	53,5	54,5
16	77,4	75,7	75,1
18	90,4	90,2	86,3
20	93,7	95,0	96,4
25	100,4	100,4	100,0
30	106,0	105,0	108,8
35	109,1	109,8	109,3
40	112,1	111,9	109,0
45	112,1	112,1	115,0
50	110,2	110,1	115,0
55	113,3	112,2	118,2
60	117,4	117,4	120,3
65	119,6	119,6	119,6
70	119,2	119,2	122,0
75	118,9	119,3	117,0
80	122,5	121,9	120,7
85	123,5	121,0	122,3
90	119,6	121,9	120,5
95	122,9	119,7	121,2
100	124,5	121,5	120,8
105	122,9	121,9	122,3
110	124,5	121,5	121,2
115	119,6	119,7	120,8
120	124,8	122,6	122,4
1440	130,8	129,9	130,5

Die bei der Brinell-Härteprüfung ermittelten Härtewerte der Probekörper sind folgender Abbildung zu entnehmen:

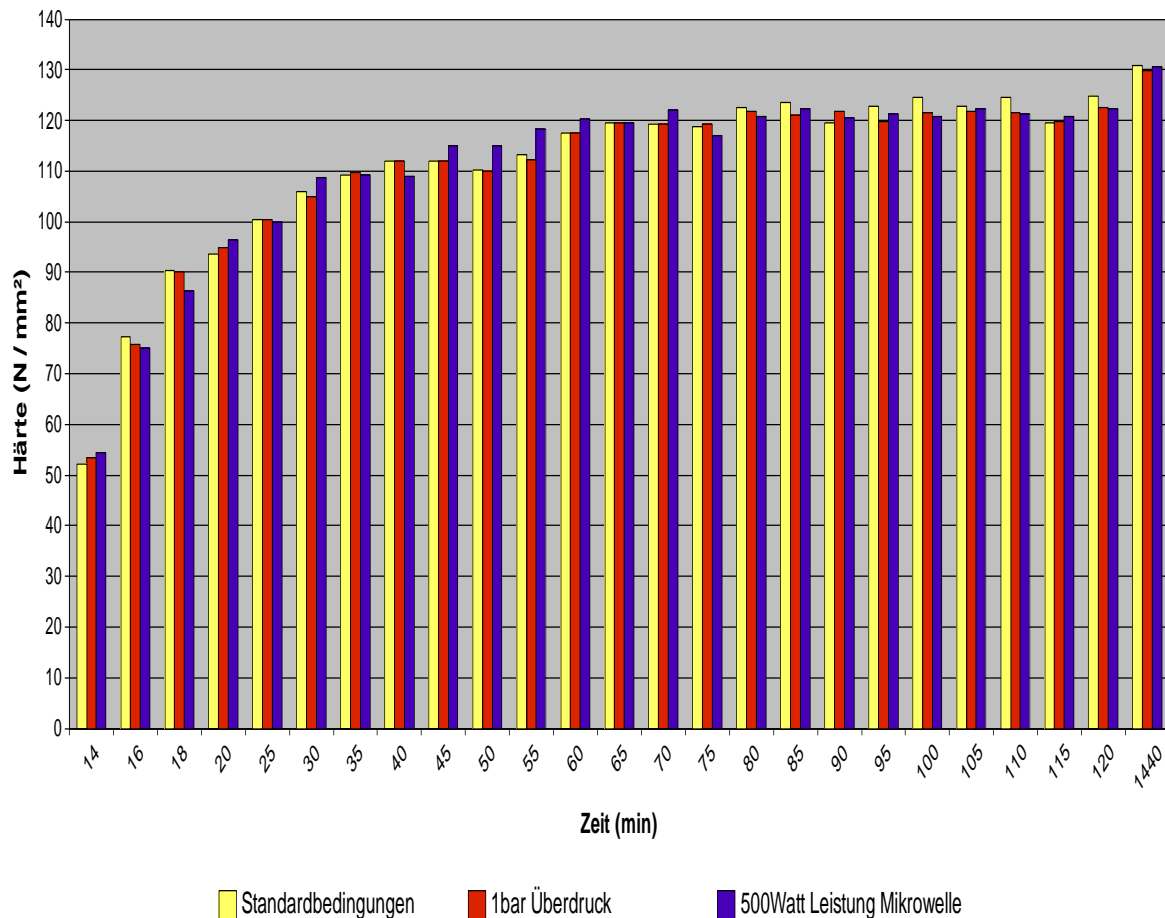


Abb. 14: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Härte in Abhängigkeit von der Zeit für Gips dento-dur[®] 110 unter Standardbedingungen und unter dem Einfluss von Druck bzw. Mikrowellenstrahlung

Über einen Prüfzeitraum von 24 Stunden ist kein signifikanter Unterschied in der Härtezunahme bei den Prüfkörpern, welche einem Überdruck von 1bar ausgesetzt waren und bei den Prüfkörpern, welche einer Mikrowellenstrahlung von 500 Watt ausgesetzt waren, im Vergleich zu den Standardprüfkörpern zu erkennen. Auch die Endhärtewerte weisen nach 24 Stunden keinen Unterschied im Vergleich zu den Standardprüfkörpern auf. Somit ist erkennbar, dass weder Überdruck noch Mikrowellenstrahlung einen Einfluss auf die Härte des Hartgipses dento-dur[®] 110 haben.

Die bei der **Expansion** ermittelten Mittelwerte der Probekörper stellen sich wie folgt tabellarisch dar.

Tab. 12: Expansion in % für dento-dur[®] 110

Mittlere Expansionswerte unter Standardbedingungen, bei Überdruck von 1 bar und 500 Watt Leistung Mikrowelle in Abhängigkeit von der Zeit (t) nach Mischbeginn

t [min]	Standardwerte \bar{x} in %	Überdruck \bar{x} in %	Mikrowelle \bar{x} in %
0	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000
8	0,015	0,015	0,015
10	0,025	0,025	0,050
12	0,052	0,050	0,070
14	0,075	0,075	0,075
16	0,080	0,080	0,080
18	0,085	0,085	0,085
20	0,090	0,090	0,090
25	0,090	0,090	0,090
30	0,090	0,090	0,090
35	0,090	0,090	0,090
40	0,095	0,095	0,095
45	0,095	0,095	0,095
50	0,095	0,095	0,095
55	0,100	0,100	0,100
60	0,100	0,100	0,100
65	0,100	0,100	0,100
70	0,100	0,100	0,100
75	0,100	0,100	0,100
80	0,100	0,100	0,100
85	0,100	0,100	0,100
90	0,100	0,100	0,100
95	0,100	0,100	0,100
100	0,100	0,100	0,100
105	0,100	0,100	0,100
110	0,100	0,100	0,100
115	0,100	0,100	0,100
120	0,100	0,100	0,100
125	0,100	0,100	0,100
130	0,100	0,100	0,100

Die bei der Expansion ermittelten Werte der Probekörper sind folgender Abbildung zu entnehmen:

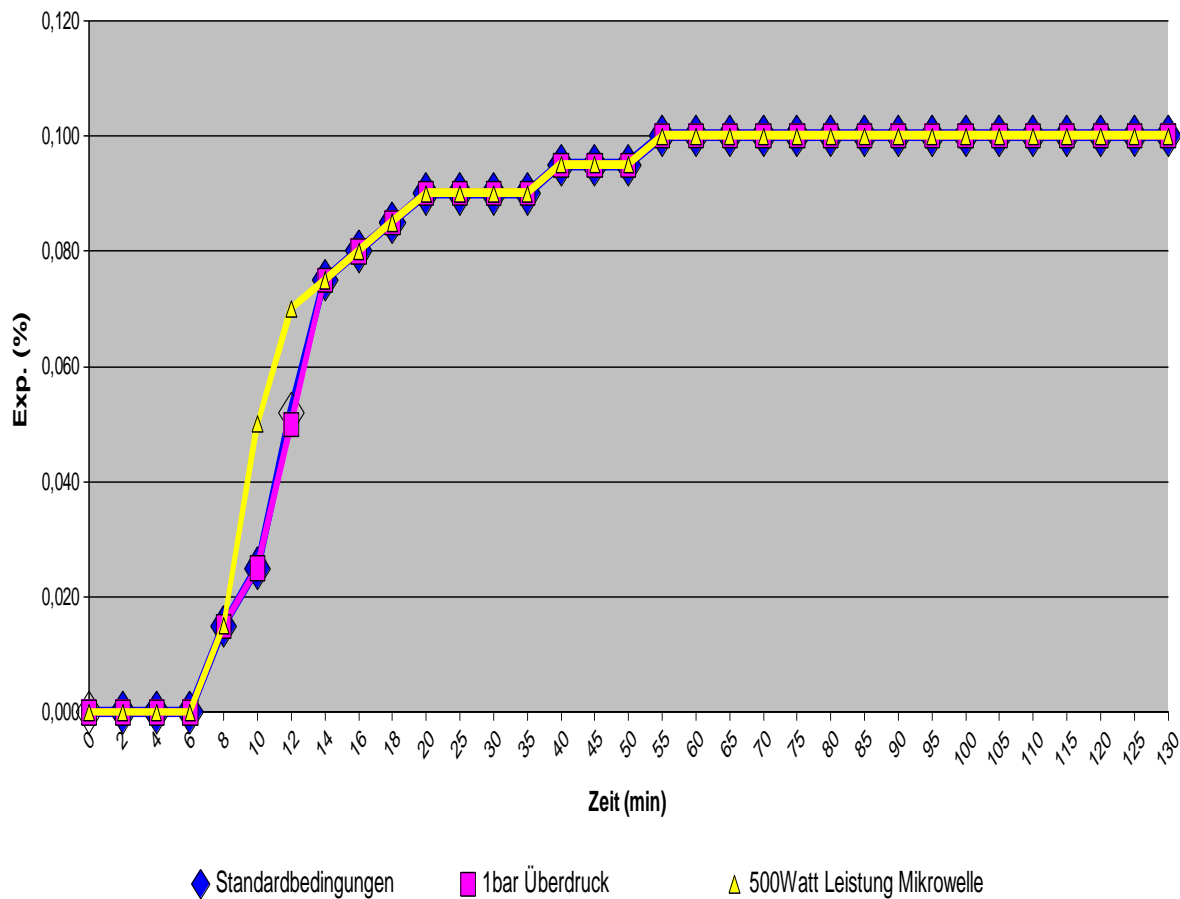


Abb.15: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Expansion in Abhängigkeit von der Zeit für Gips dento-dur[®] 110 unter Standardbedingungen und unter Einfluss vom Druck bzw. Mikrowellenstrahlung

Unter dem Einfluss von Mikrowellenstrahlung von 500 Watt sind vom Zeitpunkt 6 Minuten bis 16 Minuten nach dem Ausgießen der Probekörper die Expansionswerte etwas erhöht im Vergleich zu den Standardprüfkörpern und den Prüfkörpern, welche unter einem Überdruck bei 1 bar hergestellt wurden. Dies ist auf eine Reaktionsbeschleunigung der Abbindereaktion durch Energiezufuhr in Form von Wärme durch die Mikrowellenstrahlung zurückzuführen. Jedoch sind die Expansionswerte 18 Minuten nach dem Ausgießen der Probekörper bei allen Versuchsreihen deckungsgleich. Somit ist festzustellen, dass sowohl der Einfluss von Überdruck als auch der Einfluss von Mikrowellenstrahlen keinen Effekt auf die Expansion des Dentalgipses dento-dur[®] 110 haben.

Mikroskopische Analyse:

Zur Veranschaulichung ist wiederum beispielhaft für jede Versuchsreihe ein Bild der lichtmikroskopischen Analyse dargestellt. In Abbildung 16 ist bei dem unter Standardbedingungen hergestellten Probekörper auf der Oberfläche eine Blase mit einem Flächeninhalt von $0,141 \text{ mm}^2$ zu erkennen. Im Vergleich dazu ist in Abbildung 17 bei dem unter Überdruck hergestellten Prüfkörper eine etwas kleinere Blase mit einem Flächeninhalt von $0,114 \text{ mm}^2$ zu erkennen. Bei den Abbildungen aus dem Prüfkörperinneren sind in Abbildung 18 zwei Blasen mit einem Flächeninhalt von $0,007$ und $0,014 \text{ mm}^2$ zu sehen. In Abbildung 19 ist eine Blase mit einem Flächeninhalt von $0,053 \text{ mm}^2$ zu erkennen.

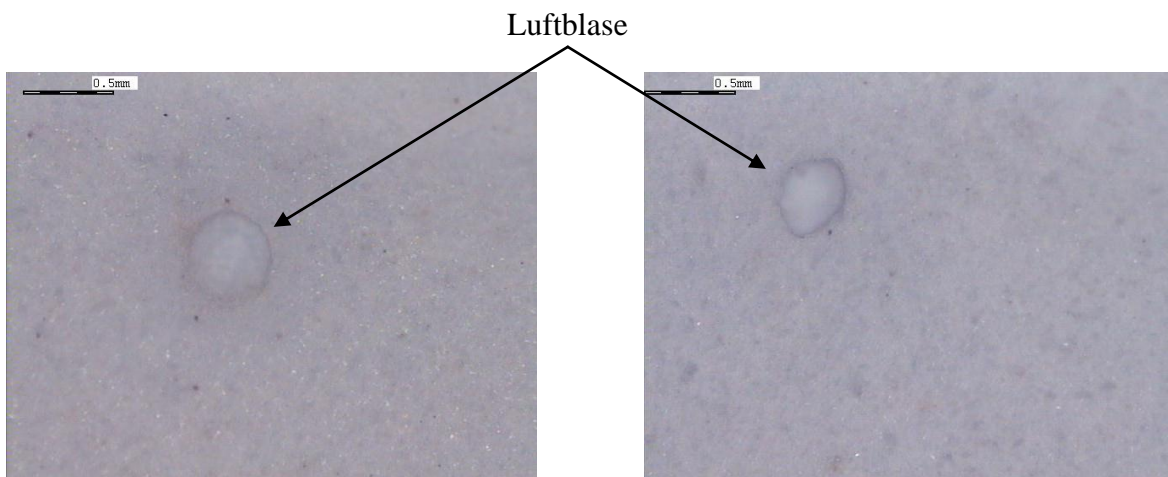


Abb. 16: dento-dur[®] 110 Gipsstruktur der Probenoberfläche unter Standardbedingungen
Maßstab 1:28

Abb. 17: dento-dur[®] 110 Gipsstruktur der Probenoberfläche unter einem Druck von 1 bar
Maßstab 1:28

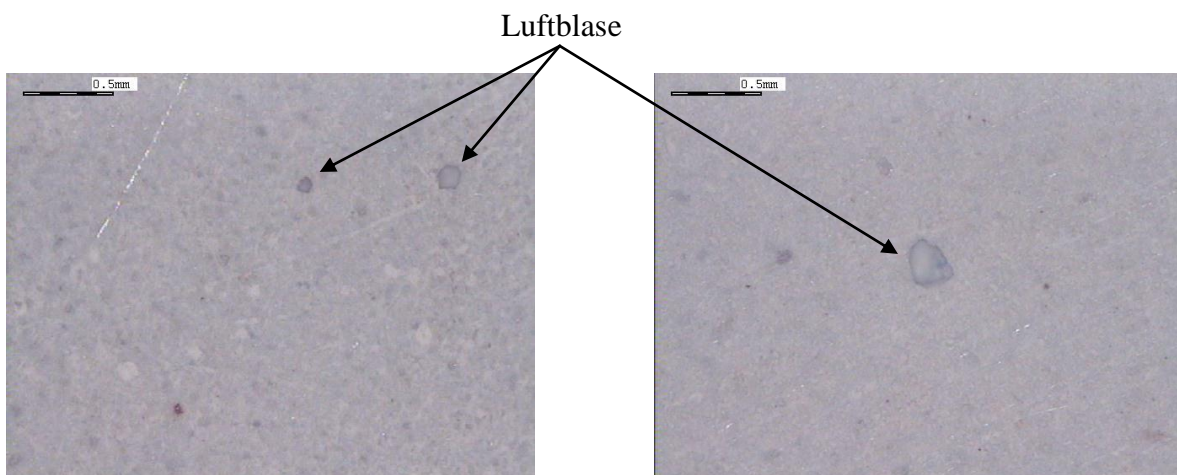


Abb. 18: dento-dur[®] 110 Gipsstruktur des Proben-Innenschliffs unter Standardbedingungen
Maßstab 1:28

Abb. 19: dento-dur[®] 110 Gipsstruktur des Proben-Innenschliffs unter einem Druck von 1 bar
Maßstab 1:28

Tab. 13: : Mittelwertiger Flächeninhalt und Anzahl von Luftblasen der Probenkörperoberfläche und der Probenkörperinnenschliffe für dento-dur[®] 110

		Probenoberfläche	Probeninnenschliffe
Standardbedingung	Anzahl der Blasen \bar{x}	1	1,5
	Flächeninhalt der Blasen (mm ²) \bar{x}	0,104	0,005
Überdruck = 1 bar	Anzahl der Blasen \bar{x}	1	3,5
	Flächeninhalt der Blasen (mm ²) \bar{x}	0,143	0,011

Auf einem zufällig ausgewählten Probekörperausschnitt der Probekörperoberfläche ist kein Unterschied bezüglich des mittleren Flächeninhaltes und der Anzahl der Luftblasen in den Prüfkörpern unter Überdruck zu den Standardprüfkörpern festzustellen.

Wie bei arti-base[®] 60 ist auch hier kein Unterschied zwischen den Prüfkörpern unter Überdruck und den Standardprüfkörpern, in Bezug auf den mittleren Flächeninhalt der Luftblasen zu erkennen. Jedoch ist hier die Anzahl der Luftblasen bei den Prüfkörperinnenschliffen unter Überdruck gegenüber den Standardprüfkörpern etwas erhöht.

4.3 Brinellhärte, Expansion und mikroskopische Analyse des Superhartgipses

Die bei der **Brinell-Härteprüfung** ermittelten Härtemittelwerte der Probekörper stellen sich wie folgt tabellarisch dar.

Tab. 14: Mittlere Brinellhärte für esthetic-base[®] 300 bei Belastung mit 500 N unter Standardbedingungen, bei Überdruck von 1 bar und 500 Watt Leistung Mikrowellen in Abhängigkeit von der Zeit (t) nach Mischbeginn

t [min]	Standardwerte \bar{x} in N/mm ²	Überdruck \bar{x} in N/mm ²	Mikrowelle \bar{x} in N/mm ²
14	71,7	64,2	61,7
16	99,3	98,4	84,7
18	111,2	111,8	102,6
20	138,1	131,1	129,3
25	145,1	146,6	146,7
30	168,5	157,2	155,2
35	172,4	180,4	169,5
40	191,9	189,8	197,2
45	197,0	187,9	215,4
50	228,1	222,2	214,2
55	224,5	222,9	237,9
60	214,3	220,4	233,3
65	215,4	210,7	240,4
70	240,4	242,8	248,8
75	245,9	245,2	239,7
80	246,2	243,1	251,2
85	250,3	254,8	242,7
90	268,9	269,5	250,9
95	275,4	267,5	273,8
100	271,9	270,6	276,8
105	246,2	243,1	250,9
110	275,4	267,5	273,8
115	281,4	288,7	276,8
120	281,4	288,7	292,3
1440	312,5	311,7	310,6

Die bei der Brinell- Härteprüfung ermittelten Härtewerte der Probekörper sind folgender Abbildung zu entnehmen:

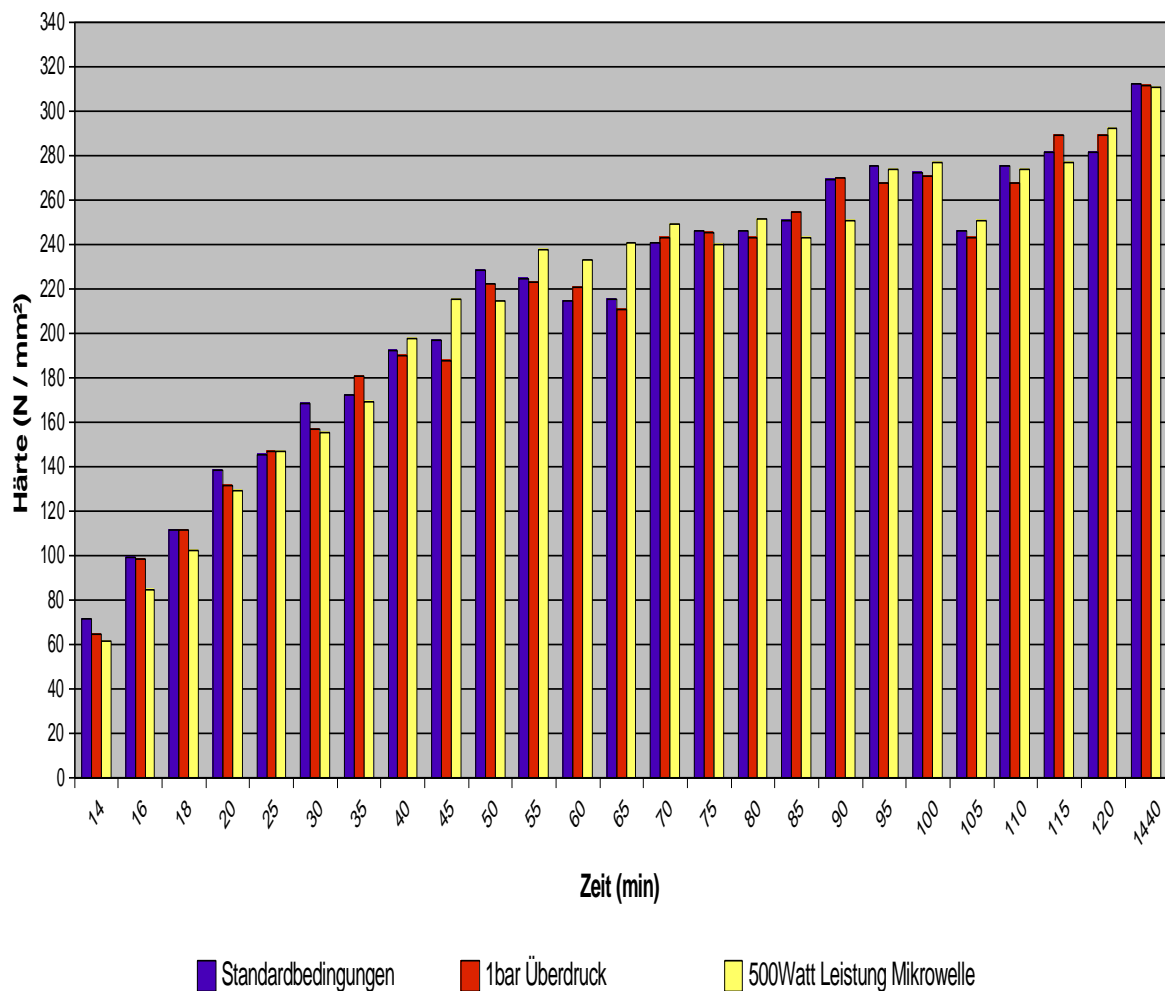


Abb. 20: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Härte in Abhängigkeit von der Zeit für Gips esthetic-base[®] 300 unter Standardbedingungen und unter dem Einfluss von Druck und Mikrowellenstrahlung

Über einen Prüfzeitraum von 24 Stunden ist kein signifikanter Unterschied in der Härtezunahme bei den Prüfkörpern unter Überdruck und unter Mikrowellenstrahlung im Vergleich zu den Standardprüfkörpern zu erkennen. Ebenfalls weisen die Endhärtewerte nach 24 Stunden keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zu den Standardprüfkörpern auf. Somit ist erkennbar, dass weder Überdruck noch Mikrowellenstrahlung einen Einfluss auf die Härte des Superhartgipses esthetic-base[®] 300 haben.

Die bei der **Expansion** ermittelten Mittelwerte der Probekörper sind folgender Tabelle zu entnehmen.

Tab. 15: Expansion in % für esthetic-base[®] 300

Mittlere Expansionswerte unter Standardbedingungen, bei Überdruck von 1 bar und 500 Watt Leistung Mikrowelle in Abhängigkeit von der Zeit (t) nach Mischbeginn

t [min]	Standardwerte \bar{x} in %	Überdruck \bar{x} in %	Mikrowelle \bar{x} in %
0	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000
14	0,005	0,005	0,010
16	0,020	0,020	0,025
18	0,045	0,045	0,050
20	0,055	0,055	0,060
25	0,063	0,065	0,065
30	0,068	0,068	0,070
35	0,070	0,070	0,071
40	0,065	0,065	0,066
45	0,060	0,061	0,061
50	0,060	0,056	0,060
55	0,055	0,055	0,055
60	0,055	0,055	0,055
65	0,050	0,050	0,050
70	0,050	0,050	0,050
75	0,050	0,050	0,050
80	0,050	0,050	0,050
85	0,050	0,050	0,050
90	0,050	0,050	0,050
95	0,050	0,050	0,050
100	0,050	0,050	0,050
105	0,050	0,050	0,050
110	0,050	0,050	0,050
115	0,050	0,050	0,050
120	0,050	0,050	0,050
125	0,050	0,050	0,050
130	0,050	0,050	0,050

Die bei der Expansion ermittelten Werte der Probekörper sind folgender Abbildung zu entnehmen:

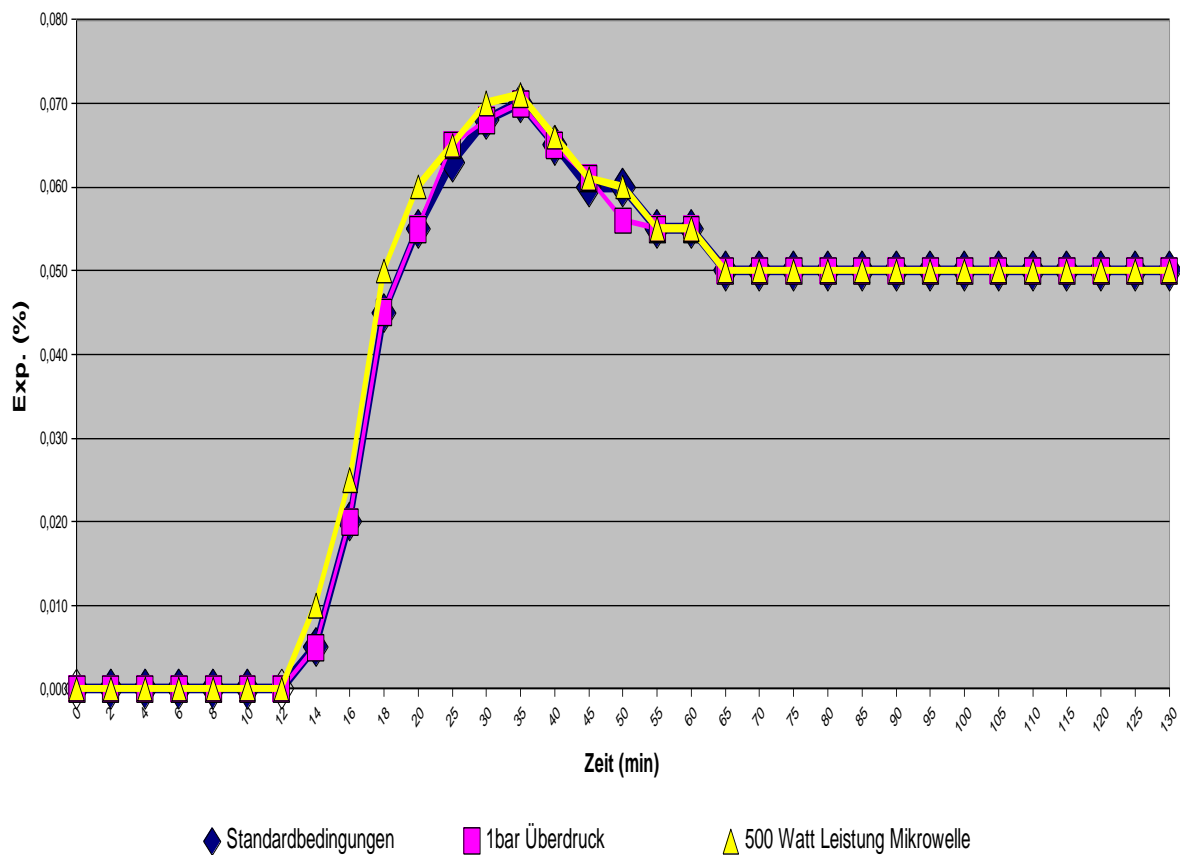


Abb.21: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Expansion in Abhängigkeit von der Zeit für Gips esthetic-base[®] 300 unter Standardbedingungen und unter Einfluss vom Druck und Mikrowellenstrahlung

Unter dem Einfluss von Mikrowellenstrahlung sind vom Zeitpunkt 14 Minuten bis 30 Minuten nach dem Ausgießen der Prüfkörper die Expansionswerte etwas erhöht im Vergleich zu den Standardprüfkörpern. Dies ist auf eine Reaktionsbeschleunigung der Abbindeexpansion durch Energiezufuhr in Form von Wärme durch die Mikrowellenstrahlen zurückzuführen. Jedoch sind die Expansionswerte 35 Minuten nach dem Ausgießen der Probekörper bei allen 3 Versuchsreihen deckungsgleich. Somit ist festzustellen, dass sowohl Überdruck als auch Mikrowellenstrahlung keinen Effekt auf die Expansionswerte des Gipses esthetic-base[®] 300 haben. Hinzufügend ist zu darauf hinzuweisen, dass der Kurvenverlauf von esthetic-base[®] 300 anders als bei den zwei anderen Gipsarten verläuft. Dies ist für diesen Superhartgips nach Angaben des Herstellers typisch.

Mikroskopische Analyse:

Die Abbildung 22 zeigt die Prüfkörperoberfläche eines Standprüfkörpers mit einer Luftblase mit einem Flächeninhalt von 0,051 mm². Im Vergleich ist dazu in Abbildung 23 bei der Prüfkörperoberfläche des unter Überdruck hergestellten Prüfkörpers eine Luftblase mit einem Flächeninhalt von 0,123 mm² zu erkennen.

Eine Aufnahme aus dem Inneren eines Prüfkörpers, welcher unter Standardbedingungen hergestellt wurde, zeigt in Abbildung 24 eine Blase mit einem Flächeninhalt von 0,124 mm². In Abbildung 25 ist bei dem unter Überdruck hergestellten Probekörper eine Luftblase mit einem Flächeninhalt von 0,030 mm² zu erkennen.

Luftblase

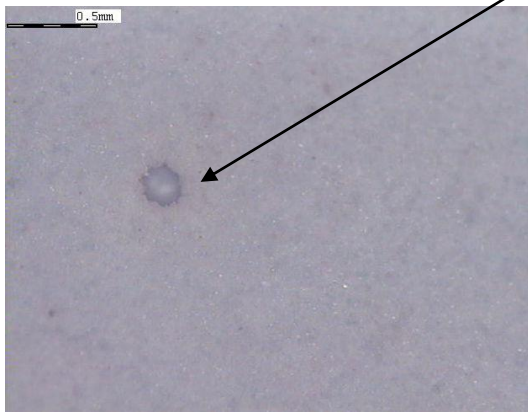


Abb. 22: esthetic-base[®] 300 Gipsstruktur der Probenoberfläche unter Standardbedingungen
Maßstab 1:28

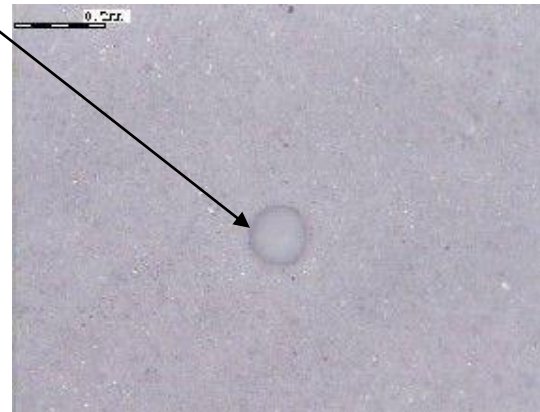


Abb. 23: esthetic-base[®] 300 Gipsstruktur der Probenoberfläche unter einem Druck von 1 bar
Maßstab 1:28

Luftblase



Abb. 24: esthetic-base[®] 300 Gipsstruktur des Proben-Innenschliffs unter Standardbedingungen
Maßstab 1:28

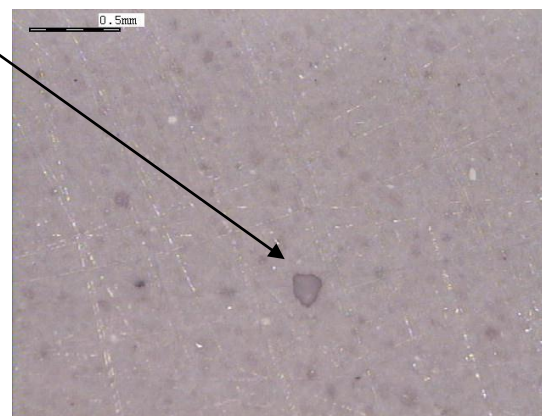


Abb. 25: esthetic-base[®] 300 Gipsstruktur des Proben-Innenschliffs unter einem Druck von 1 bar
Maßstab 1:28

Tab. 16: Mittelwertiger Flächeninhalt und Anzahl von Luftblasen der Probenkörper oberfläche und der Probenkörperinnenschliffe für esthetic-base® 300

		Probenoberfläche	Probeninnenschliffe
Standardbedingung	Anzahl der Blasen \bar{x}	2,5	1,0
	Flächeninhalt der Blasen (mm ²) \bar{x}	0,021	0,033
Überdruck = 1 bar	Anzahl der Blasen \bar{x}	1,0	3,0
	Flächeninhalt der Blasen (mm ²) \bar{x}	1,973	0,007

Auf den untersuchten Probekörperausschnitten ist die Anzahl der Luftblasen an der Prüfkörperoberfläche bei den Prüfkörpern unter Überdruck im Vergleich mit den Standardprüfkörpern erniedrigt. Jedoch ist der mittlere Flächeninhalt bei den Prüfkörpern unter Überdruck erhöht.

Wie bei dento-dur® 110 ist die Anzahl der Luftblasen gegenüber den Standardprüfkörpern der Probekörperinnenschliffe unter Überdruck erhöht. Der mittlere Flächeninhalt der Luftblasen ist hier bei den Prüfkörpern unter Überdruck erniedrigt

5. Diskussion

Trotz der gegenwärtig bereits hoch entwickelten Gipsmaterialien gibt es Vorschläge, wodurch die Materialeigenschaften und Verarbeitungsmethoden noch weiter zu verbessern sind. Durch zahlreiche Zusatzstoffe wurden die Eigenschaften von Dentalgipsen ständig verbessert. Dennoch gibt es immer wieder Empfehlungen, auch die Verarbeitung zu optimieren. So gibt es Empfehlungen zum Einsatz von Druck und Mikrowellenstrahlung bei der Verarbeitung von Dentalgipsen. Es finden sich jedoch in der Literatur keine konkreten Angaben darüber, in wie weit Mikrowellenstrahlen oder Druck tatsächlich einen positiven Einfluss auf die Materialeigenschaften der Dentalgipse haben.

5.1 Diskussion der Methodik

Materialauswahl:

Die ausgewählten Dentalgipse repräsentieren Gipse, die im zahntechnischen Labor häufig verwendet werden, sodass die Untersuchungsergebnisse auf viele Dentalgipse übertragbar sind, zumal die Produkte verschiedener Dentalgipshersteller in ihrer Zusammensetzung nur geringfügig differieren. Unter den drei Dentalgipsen der Firma Dentona, Böhlen-Lippendorf, sind sowohl ein Artikulationsgips und ein Hartgips, als auch ein Superhartgips für die Versuche ausgewählt worden. Im zahntechnischen Labor finden diese Gipstypen für die Herstellung von Situationsmodellen, für Modelle zur Herstellung von Zahnersatz und zum Einartikulieren von Modellen Verwendung.

Einteilung der Probekörpergruppen:

Die Einteilung der Probekörper erfolgte in drei Versuchsgruppen. Hier liegt die Überlegung zugrunde, die Versuchsergebnisse aus dem Standardversuch, aus dem Versuch mit Überdruck und aus dem Versuch mit Mikrowellenstrahlung vergleichend gegenüberzustellen. Somit kann der direkte Einfluss von Mikrowellenstrahlung und Überdruck auf die Härte und Expansion von Dentalgipsen bestimmt werden. Da im Rahmen der Vorversuche zu erkennen war, dass die Streuung der Versuchsergebnisse sehr gering ist, wurde die Anzahl der Versuchsreihen pro Versuchsgruppe auf fünf beschränkt.

Härteprüfung:

Um den Einfluss von Druck und Mikrowellenstrahlung auf die Härteentwicklung der Dentalgipse zu ermitteln, wurde die Bestimmung der Brinellhärte gemäß der DIN 1168 für Baugipse gewählt. Dieses standardisierte Verfahren zur Härtebestimmung wird zur Qualitätssicherung in der Produktion von Dentalgips in der Firma dentona AG Böhlen-Lippendorf angewandt. Eine Härtemessung liefert nur indirekte Aussagen über das Verhalten des Gipsmodelles bei Beanspruchung im zahntechnischen Labor. Interessanter ist die Abriebfestigkeit des Gipses bei Bearbeitung. Das Verfahren zur Bestimmung der Abriebfestigkeit ist nicht in der DIN beschrieben. Daher wurde vergleichend in den Untersuchungen die Brinellhärte ermittelt. Diese Prüfmethode weist einen einfachen Versuchsaufbau und eine relativ einfache Herstellung der Probekörper auf. Sie liefert

konstante, wiederholbare Ergebnisse und ist in der zahntechnischen Werkstoffprüfung allgemein anerkannt (Wirz 1994).

Expansionsprüfung:

Um den Einfluss von Druck und Mikrowellenstrahlung auf die Expansion der Dentalgipse zu ermitteln, wurde die Bestimmung der Expansionswerte gemäß der DIN EN ISO 6873 durchgeführt. Für die Versuchsdurchführung fand ein speziell angefertigtes Extensometer Anwendung, bei welchem der Messtrog aus Kunststoff besteht und abnehmbar ist. Ein herkömmliches Extensometer aus Metall nach DIN EN ISO 6873 ist für die Versuchsreihe mit Mikrowellenstrahlen nicht geeignet, da Metalle Mikrowellenstrahlen reflektieren. Des Weiteren war aufgrund der geringen Platzverhältnisse im Drucktopf ein abnehmbarer Messtrog erforderlich. Der abnehmbare Messtrog des Extensometers ist in einem definierten Abstand von 10 mm zur Messuhr positionierbar. Dies ist notwendig, um den abnehmbaren Messtrog immer wieder im gleichen Abstand zur Messuhr zu positionieren. Über die Verwendung des individuell hergestellten Extensometers lässt sich kontrovers diskutieren, weil Messfehler an verschiedenen Stellen denkbar sind und auch die Form des Troges abweicht. Des Weiteren galt es, Messungenauigkeiten, welche durch das wiederholte Repositionieren des Messtrog auf das Extensometer auftreten könnten, zu vermeiden. Im Rahmen der Vorversuche wurde dieses individuelle Extensometer daher auf Messgenauigkeit mit einem DIN-gerechten Gerät verglichen und es ergaben sich keinerlei Abweichungen. Deshalb konnte dieses individuelle Extensometer für die Versuche ohne Einschränkungen verwendet werden.

Zusatzuntersuchungen:

Zusätzliche mikroskopische Untersuchungen dienten der Prüfung, ob Überdruck einen Einfluss auf die Ausdehnung von in Dentalgipsen eingeschlossenen Luftblasen hat. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass diese Untersuchungen der Gipsprobenoberflächen und der Probeninnenschliffe nur stichpunktartig durchgeführt werden konnten. Die dabei ermittelten Ergebnisse werden deshalb mit Zurückhaltung bewertet. Bei der Auswertung der Probekörperoberflächen und der Probekörperinnenschliffe muss berücksichtigt werden, dass nur eine Beurteilung des Probekörpers in der jeweiligen Schliffebene möglich ist. Das bedeutet, dass nur die Fläche, nicht das Volumen der Blasen bestimmt werden konnte. Zu diskutieren ist weiterhin, dass die Berechnung der Fläche der Luftblasen unvermeidlich einen

Fehler enthält. Die Luftblasen sind nicht kreisrund und nicht immer im größten Durchmesser angeschliffen. Dies ist aber ein systematischer Fehler, der sich ausgleicht. Weiterhin wurden die Probkörperausschnitte nach dem Zufallsprinzip festgelegt und nur anhand eines Prüfkörpers der jeweiligen Versuchsgruppe durchgeführt.

Statistische Auswertung:

Die Versuchsergebnisse deuteten bereits vor der statistischen Auswertung darauf hin, dass sich die Messwerte nur wenig unterscheiden. Daher erfolgte zur Absicherung die statistische Auswertung der Ergebnisse anhand des auf den Seiten 33 und 34 beschriebenen Verfahrens, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1%. Bei gleichen Anzahlen von Stichprobenwerten aus beiden Grundgesamtheiten ist diese Formel robust gegenüber Streuungsunterschieden. Dieses gewählte Verfahren ist daher gut geeignet, die Versuchsergebnisse auf statistische Signifikanz zu prüfen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Vergleicht man die Literaturangaben der Expansionswerte mit den hier gemessenen, sind Unterschiede feststellbar. Zum Beispiel ermittelte FRANZ (1981) für Artikulationsgips einen Wert von bis zu 0,15 %. Wie jedoch aus den Ergebnissen hervorgeht, ist für den Artikulationsgips arti-base[®] 60 ein Expansionswert von nur 0,03% bis maximal 0,04 % zu messen. Für Hartgips liegen die Expansionswerte laut Literatur bei 0,20%, und für Superhartgips bei 0,16 % bis 0,30% (DIN EN ISO 6873, 2000). Die im Rahmen der Versuche ermittelten Expansionswerte liegen für dento-dur[®] 110 mit 0,10% und für esthetic-base[®] 300 mit einer Expansion von 0,05% deutlich unter den in der Literatur beschriebenen Werten. Vergleichend mit den Expansionswerten des Gipsherstellers Dentona sind die im Standardversuch ermittelten Ergebnisse für Dentona-Gipse repräsentativ. Es ist also zunächst festzustellen, dass durch immer bessere Materialeigenschaften die Expansionswerte der heute im Labor verwendeten Dentalgipse deutlich die Expansionswerte der in der Literatur aufgeführten Werte unterschreiten. Diesbezüglich wären jedoch vergleichende Studien mit anderen Gipstypen und Herstellern notwendig.

Einfluss von 1 bar Druck auf Härte und Expansion der Dentalgipse:

Nach Analyse der Versuchsergebnisse war kein signifikanter Unterschied der mit Überdruck behandelten Probekörper bezüglich Härte und Expansion im Vergleich zu den unter Standardbedingungen hergestellten Probekörpern feststellbar. Zu diskutieren ist, warum Überdruck hier in dieser Versuchsreihe keinen messbaren Einfluss auf die Dentalgipse hatte. Die Vorversuche hatten gezeigt, dass die Verdoppelung des Drucks von 1 bar auf 2 bar ohne messbaren Einfluss blieb. Es stellt sich somit die Frage, ob ein so geringer Überdruck von 1 bar oder 2 bar überhaupt in der Lage ist, den Gipsbrei während des Erstarrens zu komprimieren. Das heißt, ob es möglich ist, dadurch die Expansion zu verringern, beziehungsweise die Härte des Gipses zu steigern. Im Rahmen dieser Versuchsreihe ist ganz klar festzustellen, dass ein so geringer Überdruck nicht ausreicht. Da die Verfügbarkeit höherer Überdrücke im Labor durch einen üblichen Drucktopf nicht gegeben ist, wurden die Versuchsreihen unter geringen Drücken durchgeführt. Um die Wirkung höherer Drücke auf Dentalgipse zu testen, bedarf es speziell angefertigter Druckgefäße. Die Aussage, dass ein Aushärten von Gips unter Druck schneller und mit weniger Lufteinschlüssen in Form von Luftblasen (RISS,1990) erfolgt, ist so nicht zu bestätigen, da die Härtezunahme beziehungsweise der Verlauf der Expansion zeitlich analog mit den Normprüfkörpern verläuft. Es war kein beschleunigter Ablauf der Härteentwicklung und des Expansionsverlaufes feststellbar. Bei arti-base® 60 war unter Einfluss von Überdruck die mittlere Anzahl der Luftblasen im Vergleich zu den Normprüfkörpern erniedrigt. Bei dento-dur® 110 war der gegenteilige Effekt sichtbar. Hier war bei den Probekörperinnenschliffen die mittlere Anzahl der Blasen unter Überdruck, gegenüber den Normprüfkörpern erhöht. Bei esthetic-base® 300 war unter Überdruck die Anzahl der Blasen der Probekörperoberfläche verringert. Jedoch war unter Überdruck der mittlere Flächeninhalt der Luftblasen an den Probekörperoberflächen im Vergleich mit den Normprüfkörpern erhöht. Somit sind unter Überdruck in der Anzahl wenige, jedoch in der Ausdehnung große Luftblasen festzustellen. Bei den Probekörperinnenschliffen von esthetic-base® 300 war der gegenteilige Effekt erkennbar. Hier war die Anzahl der Blasen unter Überdruck erhöht. Der mittlere Flächeninhalt der Luftblasen jedoch erniedrigt. Danach scheinen die Effekte eher zufälliger Natur zu sein. Zu diskutieren wäre, welchen Einfluss eine Applikation höherer Drücke hat. HOHMANN und HIELSCHER (1990) beschreiben, dass ab Drücken von 50 bar eine Komprimierung um circa 1 % möglich ist. Dies ist jedoch im Labor nicht realisierbar und bei den sehr geringen Expansionswerten nicht wünschenswert. Quintessenz ist, dass heute verwendete Dentalgipse einen hohen Standard bezüglich Verarbeitung und

Materialeigenschaften erreicht haben. Sodass diese Eigenschaften durch die hier beschriebenen technologischen Varianten nicht weiter zu verbessern sind.

Einfluss von Mikrowellenstrahlung auf Härte und Expansion der Dentalgipse:

Augenscheinlich erreichte unter Mikrowelleneinfluss die Expansion bei **arti-base[®] 60** nach 130 Minuten geringere Werte, als an den unter Standardbedingungen hergestellten Prüfkörpern. Somit scheint der Einfluss der Mikrowellen zu einer Beschleunigung der Abbindereaktion zu führen, jedoch ist der Unterschied nicht signifikant.

Bei **dento-dur[®] 110** sind vom Zeitpunkt 6 Minuten bis 16 Minuten nach dem Ausgießen der Probekörper die Expansionswerte im Vergleich zu den Standardprobekörpern etwas erhöht. Dies ist auf eine Reaktionsbeschleunigung der Abbindereaktion durch Energiezufuhr in Form von Wärme durch die Mikrowellenstrahlung zurückzuführen. Jedoch sind auch hier wie bei **arti-base[®] 60** die Unterschiede nicht signifikant.

Ebenso wie bei **dento-dur[®] 110** sind bei **esthetic-base[®] 300** vom Zeitpunkt 14 Minuten bis 30 Minuten nach dem Ausgießen der Prüfkörper die Expansionswerte im Vergleich mit den Standardprüfkörpern etwas erhöht. Dies ist auch hier auf eine Reaktionsbeschleunigung der Abbindeexpansion durch Energiezufuhr in Form von Wärme durch die Mikrowellenstrahlen zurückzuführen. Jedoch sind bei **esthetic-base[®] 300** die Expansionswerte 35 Minuten nach dem Ausgießen der Probekörper bei allen 3 Versuchsreihen deckungsgleich. Somit ist festzustellen, dass sowohl der Einfluss von Überdruck als auch der Einfluss von Mikrowellenstrahlung keinen Effekt auf die Expansionswerte des Gipses **esthetic-base[®] 300** haben.

Wie aus den Vorversuchen hervorging konnte der Gipsbrei erst nach dem jeweiligen Erstarrungszeitpunkt einer Mikrowellenstrahlung ausgesetzt werden. Die Ursache für dieses Phänomen ist darin zu finden, dass die Gipskristalle erst das Anmischwasser an sich binden müssen, da sonst das Anmischwasser zwischen den Gipskristallen zu sieden beginnt, sich ausdehnt und als Folge dessen den Gipsprobekörper aus seiner Form sprengt. Somit könnte es in dem Moment, wenn Mikrowellenstrahlen eingesetzt werden, bereits zu spät sein, um die Eigenschaften des Gipses messbar zu beeinflussen. Eine Verbesserung dieser Eigenschaften ist also nur durch Beeinflussung der Abbindereaktion in der ersten Phase möglich. Eine Applikation von Mikrowellenstrahlung ist hier nicht förderlich.

Einfluss von Mikrowellenstrahlung und Überdruck auf Lufteinschlüsse in Dentalgipsen:

Die mikroskopischen Analysen der mit Überdruck behandelten Probenkörperaußenflächen und Probenkörperinnenschliffe erfolgten stichpunktartig. Sie sind deshalb eingeschränkt zu beurteilen. Wie aus der Auswertung der Ergebnisse hervorgeht, liegt kein systematisch einheitliches Ergebnis vor. Bei arti-base[®] 60 waren bei den Prüfkörpern unter Überdruck die Anzahl der Lufteinschlüsse in Form von Luftblasen im Vergleich zu den Standardprobekörpern vermindert. Jedoch war bei dento-dur[®] 110 die Anzahl der Luftblasen unter Überdruck erhöht. Aufgrund der geringen Anzahl der Untersuchungsfelder bei der mikroskopischen Analyse wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet. Somit sind die gemessenen Effekte eher zufällig und stellen kein positives Ergebnis dar.

6. Schlußfolgerungen

Aus den vorliegenden Untersuchungen geht hervor, dass ein Aushärten von Dentalgipsen unter Überdruck oder Mikrowelleneinfluss keinen Effekt bezüglich der Härte und Expansion der Gipse aufweist. Dies bedeutet, dass die Materialeigenschaften der Gipse nicht durch Überdruck und Mikrowellenstrahlen zu verbessern sind. Dentalgipse sollten weiterhin nach den üblichen Kriterien verarbeitet werden.

7. Zusammenfassung

Der Erfolg eines exakten Randschlusses einer Krone hängt entscheidend von der Präzision des Modells aus Dentalgips ab. Diesbezüglich gibt es immer wieder Verbesserungsvorschläge, wie zum Beispiel das Aushärten von Gips unter Überdruck oder das Trocknen von Gipsmodellen durch Mikrowellenstrahlung. Hierzu lagen jedoch bisher keine konkreten Untersuchungsergebnisse vor. Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von Mikrowellenstrahlen und Überdruck im Hinblick auf Härte und Expansion von Dentalgipsen zu untersuchen. Zur Untersuchung gelangten ein Gipstyp II (arti-base[®] 60), ein Gipstyp III (dento-dur[®] 110) und ein Gipstyp IV (esthetic-base[®] 300). Zur Ermittlung der Brinellhärte nach DIN 1168 dienten zylindrische Probekörper mit einem Durchmesser von 30 mm und einer Höhe von 10 mm. Die Probekörper wurden gemäß den Anforderungen der DIN 1168 hergestellt. Die Ermittlung der Härtewerte erfolgte anhand des Zwick-Härteprüfgerät 31063. Der Gips wurde nach dem Anmischen für 2 bis 30 Minuten einem Überdruck von 1 bar, beziehungsweise nach dem Erreichen des Erstarrungszeitpunktes des jeweiligen Gipstyps für

maximal 30 Minuten einer Mikrowellenstrahlung von 500 Watt ausgesetzt. Die Ermittlung der Härtewerte erfolgte in einem Intervall von 2 Minuten über einen Versuchszeitraum von 2 Stunden. Die letzte Messwerterhebung erfolgte 24 nach dem Ausgießen der Gipsprobekörper. Die ermittelten Endhärtewerte nach 24 Stunden sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tab.17: Endhärtewerte an den Gipsproben für arti-base[®] 60 in 200 N/mm² und für dento-dur[®] 110 und esthetic-base[®] 300 in 500 N/10mm² nach 24 Stunden

	Härte (200 N/10mm ²)	Härte (500 N/10mm ²)	
	arti-base [®] 60	dento-dur [®] 110	esthetic-base [®] 300
Standardbedingungen	148,0	130,8	312,5
Überdruck 1 bar	145,5	129,9	311,7
Mikrowelle 500 Watt Leistung	147,1	130,5	310,6

Nach statistischer Auswertung war kein signifikanter Unterschied bei der Härteentwicklung und dem Endhärtewert nach 24 Stunden zwischen den ermittelten Werten im Standardversuch und den Härtewerten im Versuch unter Überdruck und unter Mikrowellenstrahleneinfluss feststellbar. Die Erhebung der Expansionswerte erfolgte gemäß den Anforderungen der DIN EN ISO 6873 mittels eines speziell angefertigten Extensometers, bei welchem der Messtrog abnehmbar ist und aus Kunststoff besteht. Dies war erforderlich für die Versuche mit Mikrowellenstrahlung. Der Gips wurde nach dem Anmischen für 2 bis 30 Minuten einem Überdruck von 1 bar, beziehungsweise nach dem Erreichen des Erstarrungszeitpunktes des jeweiligen Giptyps für maximal 30 Minuten einer Mikrowellenstrahlung von 500 Watt, ausgesetzt. Die Ermittlung der Expansionswerte erfolgte in einem Intervall von 2 Minuten bis zum Ablauf von 20 Minuten danach in einem Intervall von 5 Minuten über einen Prüfzeitraum von 130 Minuten. Die Expansionswerte nach 130 Minuten sind in folgender Tabelle 18 gegenübergestellt.

Tab.18: Expansionswerte in %, 130 Minuten nach Anmischbeginn

	Expansion in %		
	arti -base [®] 60	dento-dur [®] 110	esthetic-base [®] 300
Standardbedingungen	0,04	0,10	0,05
Überdruck 1 bar	0,03	0,10	0,05
Mikrowelle 500 Watt Leistung	0,03	0,10	0,05

Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bei der Abbindeexpansion. Weiterhin erfolgten stichprobenartig mikroskopische Analysen der mit Überdruck behandelten Probenkörperaußenflächen und Probenkörperinnenschliffe. Hierfür wurde das Auflichtmikroskop OPTI PHOT der Firma Nikon und zur Auswertung der Dimensionierung der im Gipskörper eingeschlossenen Luftblasen das Computerprogramm Cyper View 2.5 verwendet. Bei **arti-base[®] 60** waren bei den Prüfkörpern unter Überdruck die Anzahl der Lufteinschlüsse in Form von Luftblasen im Vergleich zu den Standardprobekörpern vermindert. Der mittlere Flächeninhalt der Luftblasen unterscheidet sich jedoch nicht von den Probekörpern, welche unter Überdruck hergestellt wurden. Bei **dento-dur[®] 110** war auf zufällig ausgewählten Probekörperausschnitten an der Probekörperoberfläche kein Unterschied bezüglich des mittleren Flächeninhaltes und der Anzahl der Luftblasen in den Prüfkörpern unter Überdruck zu den Standardprüfkörper festzustellen. Ebenso war auch wie bei **arti-base[®] 60** hier auf den zu untersuchenden Probekörperausschnitten an der Probekörperinnenschliffe kein Unterschied zwischen den Prüfkörpern unter Überdruck und den Standardprüfkörpern in Bezug auf den mittleren Flächeninhalt zu erkennen. Jedoch ist die Anzahl der Luftblasen bei den Prüfkörpern unter Überdruck gegenüber den Standardprüfkörpern etwas erhöht. Bei **esthetic-base[®] 300** war die Anzahl der Luftblasen an der Prüfkörperoberfläche bei den Prüfkörpern unter Überdruck zu den Standardprüfkörpern erniedrigt. Jedoch ist der mittlere Flächeninhalt bei den Prüfkörpern unter Überdruck erhöht. Wie bei **dento-dur[®] 110** ist die Anzahl der Luftblasen gegenüber den Standardprüfkörpern der Probekörperinnenschliffe unter Überdruck erhöht. Der mittlere Flächeninhalt ist bei den Prüfkörpern unter Überdruck geringfügig erniedrigt.

Aufgrund der geringen Anzahl der Untersuchungsfelder bei der mikroskopischen Analyse wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet.

Nach Auswertung der Untersuchungsergebnisse ist festzustellen, dass weder Überdruck noch Mikrowellenstrahlen die Härte und Expansion von Dentalgipsen beeinflussen.

Es kann also auf die Anwendung von Überdruck und Mikrowellenstrahlung bei der Gipsmodellherstellung verzichtet werden.

8. Literatur

1. Arcon MCI: Mikrowellen-härtender Prothesenkunststoff im Injektionssystem. Quintessenz Zahntechnik 23 (1997) 969
2. Betriebsanleitung für Zwick Werkstoff-Prüfmaschinen. Härteprüfgerät 3106 B Zwick GmbH & Co Ulm (1989) S. 1-17
3. Blumenstein E, Gaupe K, Göbel R, Musil R, Recknagel I, Schmidt M, Schneider M, Thämert G, Welker D: Teil 1 Microbase ein neues Material-Technologie-Konzept im Test. Dental labor 5 (1997a) 753-760
4. Blumenstein E, Gaupe K, Göbel R, Musil R, Recknagel I, Schmidt M, Schneider M, Thämert G, Welker D: Teil 2 Microbase ein neues Material-Technologie-Konzept im Test. Dental labor 5 (1997b) 923-933
5. Borchers L: Gips, Naturgips, synthetischer Gips. Werkstoffkundeatlas. Quintessenz Zahntechnik 26 (2000) 939-954
6. Bucksch H: Dental-Wörterbuch. Verlag Neuer Merkur GmbH München (1970) S. 74-75
7. Caesar E, Ernst K: Grundwissen für Zahntechniker: Die Nichtmetalle in der Zahntechnik. Dental labor (1976) 54-69
8. Combe EC: Zahnärztliche Werkstoffe. Hanser Verlag (1975) S. 266-274
9. Der Brockhaus von A-Z. Band 2. Verlag Bibliographisches Institut, Mannheim (2000) S. 408
10. Dentaureum Pforzheim, Polyclav[®]: Gebrauchsanweisung (2001) 2-8
11. Dermann K: Biegefestigkeit von Modellwerkstoffen. Dtsch Zahnärztl Z 32 (1977) 942-944
12. Dentaureum Pforzheim: Mit der Mikrowelle auf die Schnelle, Das neue Top-Dupliergel Duplitop micro. Quintessenz Zahntechnik 26 (2000) 532
13. Dentaureum Pforzheim: Duplitop micro, das neue Top-Dupliergel auch für die Mikrowelle. Quintessenz Zahntechnik 26 (2000) 81
14. DIN EN 1168 Baugipse. (1975) 2-8
15. DIN EN 26 873 Zahnheilkunde: Dentalgipse. (2000) 4-12
16. DIN EN ISO 6873 Dentalgipse (2000) 3-17
17. Eichner K, Kappert HF: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Hüthig, Heidelberg, Band 1 (1996) S. 2-22

18. Fink K: Meister-Wissen für Zahntechniker. Neuer Merkur GmbH, München (1986) S. 265-267
19. Franz G: Dentalgipse. Carl Hanser, München, Wien (1981) S. 149-155
20. Franz G: Gips. in: Eichner K: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 1, Hüthig Heidelberg (1981) S. 5-28
21. Franz G: Untersuchungen zum Dimensionsverhalten der Hartgipse an linearen Proben und Kiefermodellen. Dtsch Zahnärztl. Z 32 (1977) 945-948
22. Franz G: Über den günstigsten Zeitpunkt zur Weiterarbeit auf einem Hartgipsmodell. Dtsch Zahnärztl. Z 34 (1979) 694-697
23. Gente M, Lehmann KM, Rehberg G: Basisuntersuchungen zum Dimensionsverhalten von Gipsproben. Dtsch Zahnärztl. Z 43 (1988) 482-486
24. Greulich R: Untersuchungen über die Abbindeexpansion, die hygroskopische und thermische Expansion der Gusseinbettmassen für Dentallegierungen. Zahntechnik 2 (1964) S. 67-74
25. Harris PE, Hoyer S, Linquist TJ, Stanford CM: Alterations of surface hardness with gypsum die hardeners. Prosthet Dent 92 (2004) 35-38
26. Heraeus Kulzer: Kleiner Gipsleitfaden, die neue Octa-Line von Heraeus Kulzer. Dentalspiegel 2 (1997) 35-37
27. Haunfelder D, Hupfauf L, Ketterl W, Schmuth G: Praxis der Zahnheilkunde, Band 3 Urban und Schwarzenberg; München-Wien-Baltimore (1977) S. 2-4
28. Hiegemann U: dento-dur 110. Hand-out dentona AG Böhlen-Lippendorf (2003a)
29. Hiegemann U: Wissenswertes über dentona Gipse. dentona AG Böhlen-Lippendorf (2003b)
30. Hofer O, Reichenbach E, Spreter von Kreudenstein T, Wannemacher E: Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig (1952) S. 538-539
31. Hoffmann-Axthelm, W: Die Geschichte der Zahnmedizin. Quintessenz, Berlin (1995) S. 4
32. Hoffmann-Axthelm W: Lexikon der Zahnmedizin. Quintessenz, Berlin (2000) S. 281-282
33. Hohmann A, Hielscher W: Lehrbuch der Zahntechnik Band 1-3. Quintessenz, Berlin (1994) S. 372-375
34. Issel P: Zahnärztliche Technik Band 6. Berlinische Verlagsanstalt GmbH (1965) S. 41-43

35. Jodl H, Lüscher E: Physik einmal anders. Moderne Aspekte einer Wissenschaft. Band 2 Deutscher Taschenbuch Verlag (1976) S. 403-407
36. Klink-Heckmann U, Bredy E: Orthopädische Stomatologie. Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1976) S. 108-110
37. Kuchling H: Taschenbuch der Physik. Harri Deutsch Verlag, Frankfurt/Main (1989) S. 182
38. Körber K, Ludwig M: Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie. Thieme Verlag, Stuttgart (1993) S. 115
39. Körber K: Zahnärztliche Prothetik, Band 2. Thieme Verlag, Stuttgart (1975) S. 246-249
40. Kreyszig E: Statistische Methoden und ihre Anwendungen. Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen (1975) S. 203-207, 425
41. Marxkors R, Meiners H: Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Carl Hanser Verlag, München (1993) S. 45
42. Marxkors R: Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. Deutscher Zahnärzte Verlag, München (1993) S. 44-46
43. Musil R: Microbase - ein neues Material-Technologie-Konzept im Test, Teil 1. Dental-labor 4 (1997) 753-760
44. Musil R: Microbase - ein neues Material-Technologie-Konzept im Test, Teil 2. Dental-labor 5 (1997) 923-933
45. privileg: Gebrauchsanweisung Mikrowelle privileg fun. Quelle, Fürth (2002) 1-25
46. Richter W: Über einige Eigenschaften von Dentalgipsen. Zahntechnik 17 (1976) 280-282
47. Riss R: Abformtechnik mit Hydrocolloidabformmassen. Deutscher Video-Verlag, Wiesbaden (1990)
48. Sailer A: Meistermodelle, ein altes aber immer wieder aktuelles Thema. Dental-labor 4 (1997) 687-693
49. Schmuth G: Kieferorthopädie. Grundzüge und Probleme. Thieme Verlag, Stuttgart (1973) S. 15-17
50. Schostek G: Sicherheit und Prestige in der Modellmasse. Dental-labor 5 (1998) 813-814
51. Schwenzer N: Prothetik und Werkstoffkunde, Band 3. Thieme Verlag Stuttgart (1982) S. 19-27

52. Viohl J: Abrieb von Modellwerkstoffen. Dtsch Zahnärztl Z 32 (1977) 937-941
53. Viohl J, Palloks D: Lineares Dimensionsverhalten von Modellwerkstoffen. Dtsch Zahnärztl Z 39 (1984) 770-774
54. Wagner E: Zusammenhang zwischen Dimensionsänderungen der Einbettmasse und der Passgenauigkeit von schematischen Kronenringen. Dtsch Zahnärztl Z 32 (1977) 949-951
55. Welker D, Lenz E: Untersuchungen der Abbindeexpansion und des thermovolumetrischen Verhaltens von Einbettmassen. Dtsch Stomat 22 (1972) 161-169
56. Wirz J: Klinische Material- und Werkstoffkunde. Quintessenz-Verlag, Berlin, Chicago, London (1993) S. 50-52
57. Wirz J, Schmidli F: Modellmaterial Gips. Teil 1: Materialien und Prüfmethode. Quintessenz 45 (1994) 85-91
58. Wirz J, Schmidli F: Modellmaterial Gips Teil 2: Resultate. Quintessenz 45 (1994) 281-288
59. Wirz J, Schmidli F: Modellmaterial Gips Teil 3: Resultate, Diskussionen und Schlussfolgerungen. Quintessenz 45 (1994) 439-446
60. Zukunft D: Dentalgips Stumpfmodellwerkstoffe. Lehrmaterialien für Ausbildung und Weiterbildung von mittlerem medizinischen Personal. Herausgeber: Institut für Weiterbildung mittlerer medizinischer Fachkräfte, Potsdam (1988) S.280-282

9. Anhang

Tab. 19: Kugeldruckhärte in N/mm² in Abhängigkeit von der Eindringtiefe in mm

(Quelle Betriebsanleitung für Zwick Werkstoff-Prüfmaschinen)

E.-Tiefe mm	Kugeldruckhärte bei Belastung / Kugeldurchmesser in N / mm ²					
	49 N/5 mm	49N/10mm	200N/5mm	200N/10mm	500N/5mm	500N/10mm
0,050	62,4	31,2	245,7	127,3	636,6	318,3
0,055	56,7	28,4	231,5	115,8	578,8	289,4
0,060	52,0	26,0	212,2	106,1	530,5	265,3
0,065	48,0	24,0	195,9	97,9	489,7	244,9
0,070	44,6	22,3	181,9	90,9	454,7	227,4
0,075	41,6	20,8	169,8	84,9	424,4	212,2
0,080	39,0	19,5	159,2	79,6	397,9	198,9
0,085	36,7	18,4	149,8	74,9	374,5	187,2
0,090	34,7	17,3	141,5	70,7	353,7	176,8
0,095	32,8	16,4	134,0	67,0	335,1	167,5
0,100	31,2	15,6	1247,3	63,7	318,3	159,2
0,105	29,7	14,9	121,3	60,6	303,2	151,6
0,110	28,4	14,2	115,8	57,9	289,4	144,7
0,115	27,1	13,6	110,7	55,4	276,8	138,4
0,120	26,0	13,0	106,1	53,1	265,3	132,6
0,125	25,0	12,5	101,9	50,9	254,7	127,3
0,130	24,0	12,0	97,9	49,0	244,9	122,4
0,135	23,1	11,6	94,3	47,2	235,8	117,9
0,140	22,3	11,1	90,9	45,5	227,4	113,7
0,145	21,5	10,8	87,8	43,9	219,5	109,8
0,150	20,8	10,4	84,9	42,4	212,2	106,1
0,155	20,1	10,1	82,1	41,1	205,4	102,7
0,160	19,5	9,7	79,6	39,8	198,9	99,5
0,165	18,9	9,5	77,2	38,6	192,9	96,5
0,170	18,4	9,2	74,9	37,4	187,2	93,6
0,175	17,8	8,9	72,8	36,4	181,9	90,9
0,180	17,3	8,7	70,7	35,4	176,8	88,4
0,185	16,9	8,4	68,8	34,4	172,1	86,0
0,190	16,4	8,2	67,0	33,5	167,5	83,8
0,195	16,0	8,0	65,3	32,6	163,2	81,6
0,200	15,6	7,8	63,7	31,8	159,2	79,6
0,205	15,2	7,6	62,1	31,1	155,3	77,6
0,210	14,9	7,4	60,6	30,3	151,6	75,8
0,215	14,5	7,3	59,2	29,6	148,1	74,0
0,220	14,2	7,1	57,9	28,9	144,7	72,3
0,225	13,9	6,9	56,6	28,3	141,5	70,7
0,230	13,6	6,8	55,4	27,7	138,4	69,2
0,235	13,3	6,6	54,2	27,1	135,5	67,7
0,240	13,0	6,5	53,1	26,5	132,6	66,3
0,245	12,7	6,4	52,0	26,0	129,9	65,0
0,250	12,5	6,2	50,9	25,5	127,3	63,7
0,255	12,2	6,1	49,9	25,0	124,8	62,4
0,260	12,0	6,0	49,0	24,5	122,4	61,2
0,265	11,8	5,9	48,0	24,0	120,1	60,1
0,270	11,6	5,8	47,2	23,6	117,9	58,9
0,275	11,3	5,7	46,3	23,2	115,8	57,9
0,280	11,1	5,6	45,5	22,7	113,7	56,8
0,285	10,9	5,5	44,7	22,3	111,7	55,8
0,290	10,8	5,4	43,9	22,0	109,8	54,9
0,295	10,6	5,3	43,2	21,6	107,9	54,0
0,300	10,4	5,2	42,4	21,2	106,1	53,1

10. Thesen

1. Gips ist ein bewährtes und seit langer Zeit häufig verwendetes Material in der Zahntechnik. Dennoch ist man immer auf der Suche nach Verbesserungen.
2. Obwohl in der Literatur Angaben zum Aushärten von Dentalgipsen unter Überdruck oder zum Trocknen von Gipsmodellen unter Mikrowellenstrahlung zu finden sind, liegen hierzu keine konkreten Erkenntnisse über die Auswirkungen vor.
3. Der Qualitätseinfluss von Druck und Mikrowellenstrahlung auf Dentalgipse ist durch Messung der Härte und Expansion bzw. durch Ermittlung von Lufteinschlüssen ermittelbar.
4. Die Härtewerte der mit Überdruck bzw. Mikrowellenstrahlung behandelten Probekörper zeigen keine signifikanten Unterschiede zu den unter Standardbedingung hergestellten Probekörpern.
5. Die Expansionswerte der mit Überdruck bzw. Mikrowellenstrahlung behandelten Probekörper weisen keine signifikanten Unterschiede zu den unter Standardbedingungen hergestellten Probekörpern auf.
6. Die Anzahl und der Durchmesser von Luftblasen in mit Überdruck behandelten Prüfkörpern zeigen keinen Unterschied im Vergleich zu den unter Standardbedingungen hergestellten Prüfkörpern.
7. Auf das Aushärten von Dentalgipsen unter Überdruck oder Mikrowellenstrahlung kann verzichtet werden.

Lebenslauf

Name: Susanne Pieper
Wohnort: Oberbettringerstraße 104
73525 Schwäbisch-Gmünd

Geburtstag: 29.08.1980

Geburtsort: Sangerhausen

Familienstand: ledig

Nationalität: deutsch

Schulbildung:

08/1987 - 06/1991 Grundschule

08/1991 - 06/1999 Gymnasium

10.07.1999 Abitur

Studium:

10/1999 - 07/2002 Vorklinisches Studium, an der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

10/2002 - 07/2004 Klinisches Hauptstudium, an der Martin-Luther-
Universität Halle-Wittenberg

09.11.2004 Approbation an der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

02/2005 - 01/2007 Assistenz Zahnarzt in der zahnärztlichen Gemeinschafts-
praxis Knittlingen

02/2007 Weiterbildungsassistent in der MKG- Praxisklinik
Mutlangen

Schwäbisch-Gmünd, im März 2008

Danksagung

Herrn Prof. Dr. K.-E. Dette danke ich für die Überlassung des Themas, für die ständig geleistete Unterstützung, die konstruktiven Kritiken und guten Vorschläge, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Ich danke der Firma dentona AG und besonders Herrn U. Hiegemann für die zur Verfügung gestellten Materialien und Untersuchungseinrichtungen

Herrn Zahntechnikermeister D. Zukunft danke ich für die hilfreichen Literaturhinweise.

Meiner Tante Frau Dipl. Phys. D. Schnell (Hannover) danke ich für die Hilfe bei der statistischen Aufarbeitung.

Für die Anfertigung der Fotoaufnahmen und die ständig geleistete Unterstützung danke ich meinem Vater Herrn Dipl. Ing. E. Pieper und der Firma Molex Elektronik GmbH (Ettlingen) für die zur Verfügung gestellten Untersuchungseinrichtungen und Computerprogramme.

Meinem Bruder Herrn M. Pieper danke ich für die konstruktiven Kritiken und Anregungen.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt und nur an der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg eingereicht habe. Weitere Promotionsversuche mit dieser oder einer anderen Dissertation im In- oder Ausland habe ich nicht gemacht.

Susanne Pieper

Schwäbisch-Gmünd, im März 2008