

Zusammenfassung

Im Rahmen einer in-vitro Studie wurde die Abrasionsfestigkeit von sechs verschiedenen Kunststoffzahnarten untersucht. Anliegen war die Bewertung der Abrasionsfestigkeit in Abhängigkeit von der Dauer der Belastung, indem Untersuchungen mit 7 Stunden und 14 Stunden Belastungen sowie wiederholte Belastungen mit einer Dauer von 7h durchgeführt wurden. Alle Untersuchungen wurden auf Abratest 03 Geräten, mit $n = 10$ Proben durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Abrasionsfestigkeit bei Polystar LUX HK, Postaris und Integral vergleichbar und nur geringfügig reduziert im Vergleich zu Vitapan ist. Dagegen zeigten Premium 8 und Genios P Zähne insbesondere in den jeweiligen Anfangsserien einen signifikant erhöhten Abrieb, der mit einem Höhenverlust bis zu 0,7 mm je Serie verknüpft ist. Dieses Verhalten ist wahrscheinlich auf eine reduzierte Oberflächenqualität zurückzuführen und schränkt die Nutzungsdauer dieser Zähne ein.

Indizes

Vollkeramikkrone, Jacket-Krone, Hohlkehle, Stufenpräparation, Bruchfestigkeit, CEREC, in-Ceram

Einleitung

Abriebfestigkeit künstlicher Zähne

Eine vergleichende Untersuchung in-vitro

Wolf-Dieter Müller, Christiane Schöpf, Klaus-Peter Lange

Kunststoffzähne sollen neben einer einfachen Verarbeitung vor allem hohen ästhetischen und funktionellen Ansprüchen genügen. In der Mundhöhle sind sie verschiedenen Einflüssen ausgesetzt, die sowohl die Funktion, als auch das Erscheinungsbild beeinflussen können. Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang die Abriebfestigkeit. Abrieb oder Abrasion, eine Form des Verschleißes, im tribologischen System Kunstzahn – natürlicher Zahn⁹, tritt durch Leerbiss oder Zähneknirschen auf. Der anfänglich positive Effekt des Einschleifens kann sich mit der Zeit durch zu großen Höhenverlust in einen negativen Effekt umwandeln. Bei erhöhter Abrasion der künstlichen Zähne kann es zu Veränderungen der vertikalen Relation der Kiefer zueinander und damit zur Biss-Senkung sowie zu Kiefergelenksbeschwerden kommen. Diese Folgen führen dazu, dass Prothesen erneuert werden müssen, um den physiologischen Zustand wiederherzustellen. Aus diesem Grund ist die Abrasionsfestigkeit eine Eigenschaft, die bei der Auswahl geeigneter Prothesenzähne nicht vernachlässigt werden sollte.



Tab. 1 In-vitro-Untersuchungen zur Abrasionsfestigkeit von Prothesenzähnen, nach /2/
Fortsetzung Tab. 1, Seite 512

Autoren	Ausgewählte Materialien	Zusammensetzung	Zähne oder Prüfkörper	Testgerät Gegenkörper Medium	Abriebverhältnisse zwischen Prothesenzahnmaterialien
Coffey et al. ²	Bioform	herkömmliches Acrylat	Zähne	„künstl. Mund“ n. DeLong und Douglas - Schmelz - Wasser	Bioform 1,7
	Bioform IPN	IPN-Kunststoff			Bioform IPN1 1
Douglas et al. ³	Trublend	Mischpolymer / ultrahochmolekulares Polyethylen IPN-Kunststoff	Zähne	„künstl. Mund“ n. DeLong und Douglas - Schmelz - Wasser	Vitapan 3,8
	Dentsply IPN	vorvernetztes PMMA + MMA/Vernetzer + 15 Gew.-% amorphe Kieselsäure			Ivoclar 3,5
	Vitapan	herkömmliches Acrylat			Orthotyp *1,
	Ivoclar				Dentsply IPN 3
	Orthotyp				Trublend *1
					(*kein signifikanter Unterschied)
Tappe et al. ⁵	Artiplus	IPN-Kunststoff	Zähne	„Abratest 02“ (Gleittreibung) - Hartmetallplat. - Wasser	Ivoclar 2,3
	Vitapan	vorvernetztes PMMA + MMA/Vernetzer 15 Gew.-% amorphe Kieselsäure			Orthotyp 1,5
	Ivoclar	herkömmliches Acrylat			Vitapan 1
	Orthotyp				



Tab. 1 In-vitro-Untersuchungen zur Abrasionsfestigkeit von Prothesenzähnen, nach /2/ (Fortsetzung)

Autoren	Ausgewählte Materialien	Zusammensetzung	Zähne oder Prüfkörper	Testgerät Gegenkörper Medium	Abriebverhältnisse zwischen Prothesenzahnmaterialien
Whiteman et al. ⁶	Bioform	herkömmliches Acrylat	Prüfkörper Per	„Pin and Disk“ Abriebsmaschine Stahlpin - Wasser	Bioform 3,2
	Bioform	INP-Kunststoff			Bioform 1
	IPN				IPN
Leinfelder ⁷	Bioform	Feldspatkeramik	Prüfkörper	Versuchsanordnung zur Durchführung der Drei-Körper-Abrasion Polyazetalstempel - PMMA-Aufschlämmung	Bioblend 9
	Antaris	hochvernetztes PMMA			Vitapan 4,5
					Bioblend 4,3
					IPN 3,5
	Trublend	Mischpolymer/ ultrahochmolekulares Polyethylen			Trublend 3,4
	SLM				Vivodent 2,8
	Vitapan	vorvernetztes PMMA+ MMA/Vernetzer+ 15 Gew.-% amorphe Kieselsäure	Antaris 1 Keramik		
	SR-Vivodent	vernetztes PMMA			
	PE				
	Bioblend				
IPN	IPN-Kunststoff				
Bioblend	herkömmliches Acrylat				

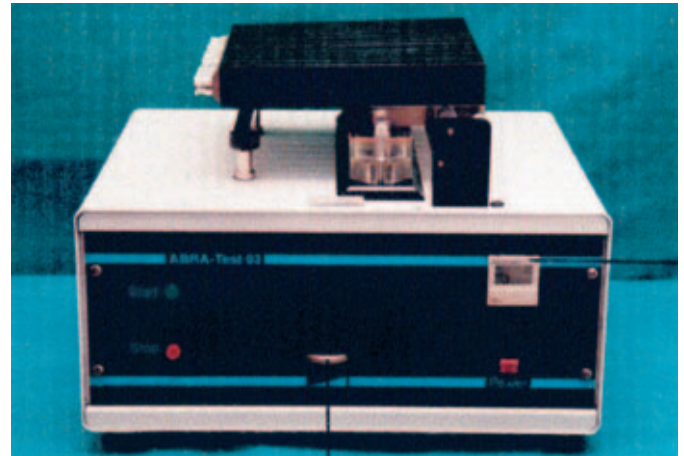


Abb. 1 Ansicht des Abratest 03 Gerätes.

Seit Beginn des Einsatzes von Kunststoffzähnen ist man bestrebt, die Abrasionsfestigkeit der Kunststoffzähne zu erhöhen und diese dem natürlichen Zahnschmelz anzupassen. Durch anorganische Zusätze, wie im Falle von Vitapan oder durch eine dreidimensionale Vernetzung, ein so genanntes IPN, interpenetrierendes Netzwerk, kann Lucke⁶ zufolge die Abriebfestigkeit deutlich verbessert und der von Keramikzähnen angenähert werden. Die Bestimmung der Abriebfestigkeit sollte einfach, schnell, reproduzier- und vergleichbar gestaltet sein. Sie bereitet insofern einige Probleme, da für derartige Untersuchungen fertige Zähne und keine extra dafür hergestellten Prüfkörper genutzt werden. Einige in der Literatur beschriebene Verfahren sind in der Tabelle 1 zusammengefasst dargestellt. Sie unterscheiden sich im Aufwand, der Art der Probekörper sowie auch in der Art der Relativbewegung der Verschleißkomponenten.

Da die Bestimmung des Höhenverlustes infolge Abrasion von besonderem Interesse ist, ist eine Vermessung der Abriebflächen unumgänglich. Im Falle von zylindrischen Prüfkörpern ist dies unproblematisch, allerdings auch weit von der Realität entfernt. Mit Hilfe heute verfügbarer Videotechnik und Bildbearbeitungssoftware ist dies mit hoher Präzision auf natürlich geformten Zähnen möglich. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, durch die in-vitro Untersuchung der Abrasionsfestigkeit verschiedener Kunststoffzahnarten Betrachtungen zur Auswertung der Meßergebnisse anzustellen, die auf eine verlässliche Interpretation der Ergebnisse abzielen.

Material und Methode

Für diese Untersuchungen standen Prämolarenzähne verschiedener Firmen zur Verfügung. Sie sind in der Tabelle 2 aufgelistet. Die Abriebfestigkeit wurde mit zwei Abratest 03 Geräten (Eigenbau Charité) durchgeführt, die die Simulation mundähnlicher Bedingungen ermöglichen^{1,4} (Abb. 1). Dabei wird das Prinzip der Gleitreibung unter einer Aufsetzkraft von 25 N in Wasser bei Raumtemperatur genutzt. Als Gegenkörper werden polierte Hartmetallplatten (Sintermetall mit Wolframcarbid als Hauptbestandteil) eingesetzt⁷.

Eine elektronische Steuerung sorgt für eine zyklische Be- und Entlastung über eine Abhebevorrichtung. Das Reibintervall hat eine Dauer von 20 sec, wohingegen die Entlastungsphase eine Länge von 7 sec hat.



Der Ablauf der Untersuchungen gestaltete sich folgendermaßen:

- Fassung der Zähne in Autopolymerisat, damit sie in die Maschinen eingespannt werden können,
- Wassersättigung bis zur Gewichtskonstanz,
- Dichtebestimmung nach dem Archimedischen Prinzip ρ [g/mm^3],
- Vier Stunden Einschleifen,
- Bestimmung des Anfangsgewichtes m_A [mg],
- Bestimmung der Ausgangsfläche A_A [mm^2],
- Abrieb: 7 oder 14 Stunden in Wasser gegen WC-Platten unter 25 N,
- 20 sec Reiben, 7 sec Abheben,
- Bestimmung des Endgewichtes (m_E) [mg] und
- Bestimmung der Endfläche (A_E) [mm^2].

Neben der vergleichenden Bewertung der Abriebfestigkeit sollte auch der Einfluss der Abriebzeit insbesondere bei mehrmaligen Wiederholungen untersucht werden. So wurden Abriebuntersuchungen mit 14 Stunden und 7 Stunden Dauer durchgeführt, wobei im Anschluss an diese Untersuchungen weitere zwei beziehungsweise vier Serien à sieben Stunden Belastung folgten.

Die Abriebfestigkeit berechnet sich folgendermaßen:

$$\text{mittlere Abriebfläche} = \frac{A_A + A_E}{2}$$

$$\text{Masserverlust: } \dots \Delta m = m_A - m_E$$

$$\text{Abrieb 1: } A_1 = \frac{\Delta m}{\rho} \quad [\text{mm}^3]$$

$$\text{Abrieb 2: } A_2 = \frac{A_1}{\text{mittlere Abriebfläche}} \quad [\mu\text{m}]$$

Abrieb 1 beschreibt den Volumenverlust. Dieser gibt aber noch keine Auskunft über den Höhenverlust. Dafür ist die Bestimmung der mittleren Abriebfläche unabdingbare Voraussetzung. Die Aufnahme der Abriebflächen erfolgte mit Hilfe eines computergesteuerten Messplatzes, der an ein Auflichtmikroskop (Leitz, Wetzlar) gekoppelt war, sowie der Bildbearbeitungssoftware Impage P2 (H&K Messsysteme, Berlin) mit 40-facher Vergrößerung. Um Fehler bei der Ermittlung der Abriebflächen zu minimieren, werden deren Ränder manuell am Computer nachgezeichnet und erst dann automatisch vermessen.

Die Abbildung 3 zeigt eine Zusammenstellung einer Abriebfläche nach dem Einschleifen und nach dem eigentlichen Abriebversuch. Die Ergebnisse wurden auf ihre Normalverteilung hin geprüft und mit Hilfe von Origin 6.0 einem Signifikanztest bei $p < 0,01$ unterzogen. Je Serie wurden $n = 10$ Zähne eingesetzt. Zähne, die nach dem Abriebversuch

Tabelle 2: Zusammenstellung der untersuchten Kunststoffzahnarten

Produktname	Hersteller	Zusammensetzung	Füllgrad
Integral	Merz Dental GmbH	IPN (PMMA)	0
Polystar Lux HK	Merz Dental GmbH	IPN (PMMA)	0
Vitapan	VITA Zahnfabrik	Vernetztes PMMA	5% amorphe Kieselsäure
Premium 8	Hereaus Kulzer	Vernetztes PMMA	0
Genios P	Dentsply	Vernetztes PMMA	0
Postaris	Ivoclar	Vernetztes UDA/PMMA	0

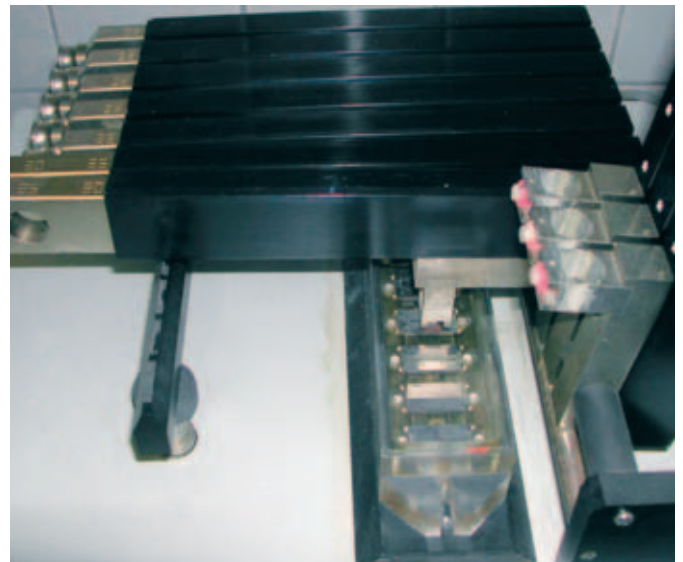


Abb. 2 Der eingespannte Prüfkörper.

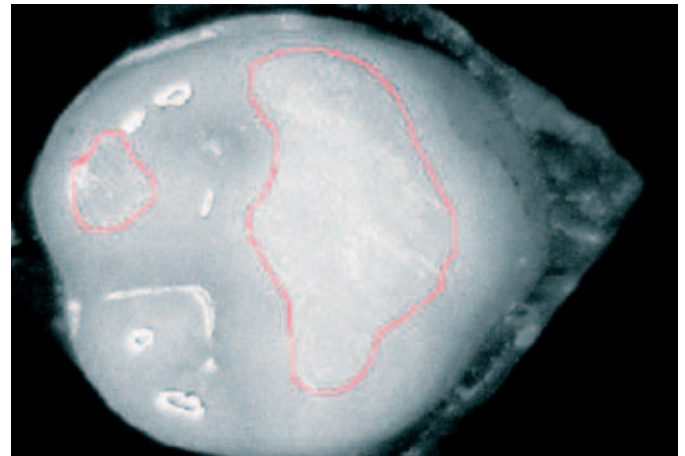
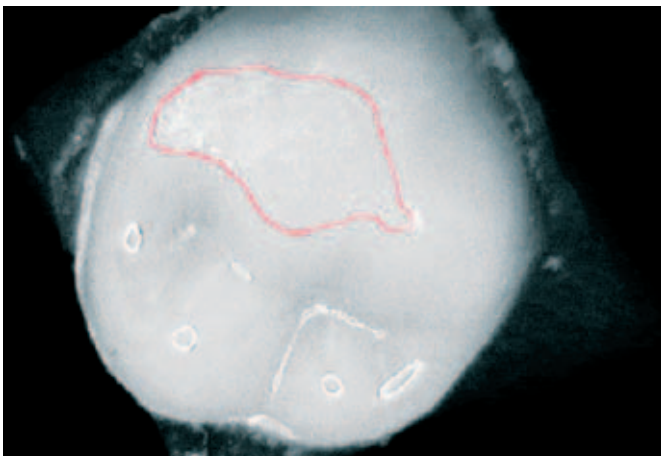


Abb. 3 Die Abriebflächen vor und nach einem Versuch (hier mit dem Integral Zahn).

Brüche beziehungsweise Abplatzungen aufwiesen, wurden in diese Betrachtungen nicht mit einbezogen.

Die Tabelle 2 enthält die nach dem Auftriebverfahren ermittelten Werte für die Dichte der jeweiligen Kunststoffzähne. Schon der Dichteunterschied zwischen Vitapan und den übrigen Kunststoffzahnsorten verdeutlicht, dass es sich im Falle von Vitapan um ein gefülltes Material handeln muss. Die Abbildung 4 gibt einen Einblick in die Variabilität der Abriebflächen je Prüferie am Beispiel von Integral Zähnen.

Ergebnisse

Der Vergleich der verschiedenen Kunststoffzahnmaterialien stellt sich bezüglich der mittleren Abriebfläche so dar, wie in der Abbildung 5 zu sehen ist. Bei der Betrachtung dieser Grafiken ist zu berücksichtigen, dass die y-Achse eine logarithmische Teilung aufweist. Übersichtlicher sind die in Abbildung 6 und Abbildung 7 gewählten Box-Plot Darstellungen.

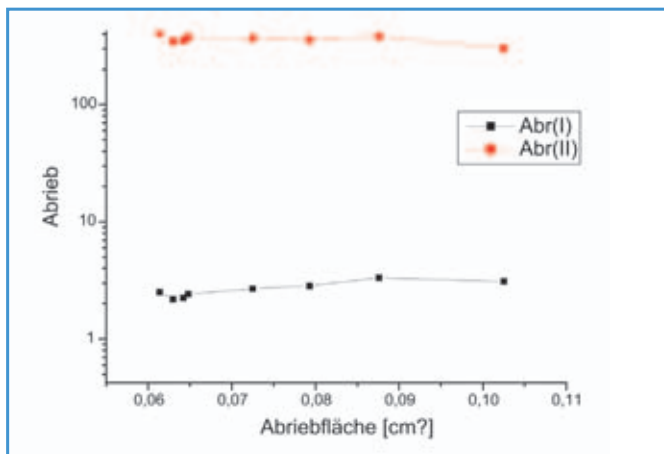


Abb. 4 Variation der mittleren Abriebfläche innerhalb einer Prüferie, Integral {Abr(I) in [mm³] und Abr(II) in [µm]}.

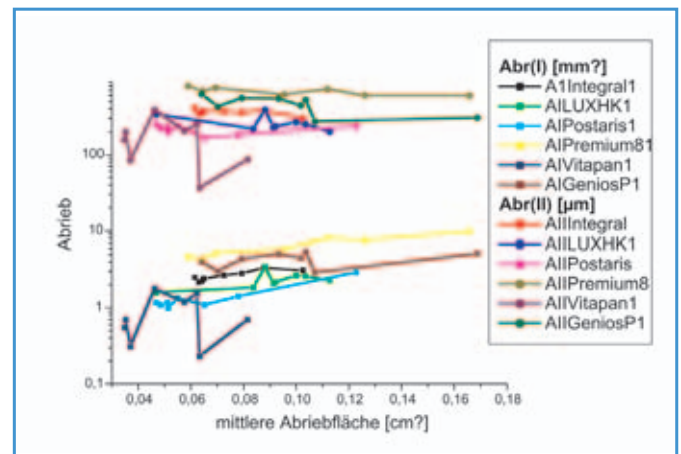


Abb 5 Abriebfestigkeit nach den ersten sieben Stunden Abrieb für sechs verschiedene Kunststoffzahnmaterialien (Im Falle von Vitapan ist die 2. Serie nach vorheriger 14-stündiger Belastung dargestellt).

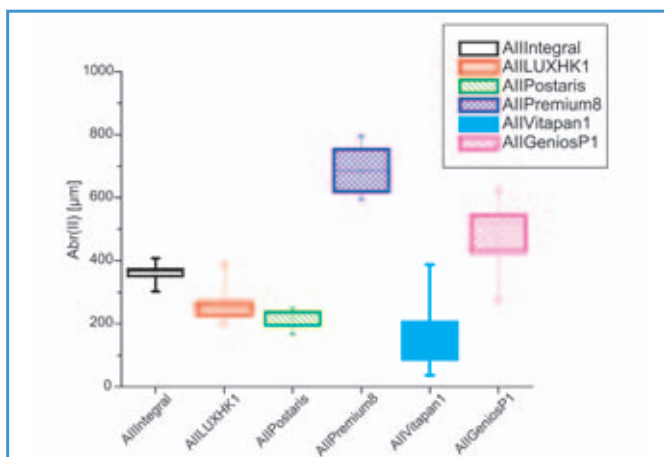


Abb 6. Abr(II), Höhenverlust in [µm], nach sieben Stunden.

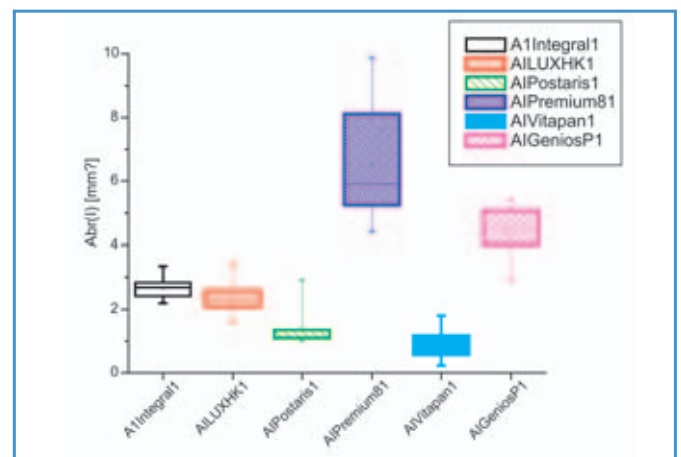


Abb. 7 Abr(I) für verschiedene Kunststoffzahnsorten nach sieben Stunden Abrieb.



Tabelle 3: Dichte von Kunststoffzahnsorten verschiedener Hersteller

Kunststoffzahnsorte	Dichte ρ [g/cm ³]
Integral	1,196
Polystar LUX HK	1,1951
GeniosP	1,1999
Postaris	1,1969
Premium 8	1,1957
Vitapan	1,2808

Diesen Ergebnissen zufolge weisen Premium 8 und Genios P deutlich höhere Abriebverluste im Vergleich zu Integral, Polystar LUX HK, Postaris und Vitapan auf. Dies ist um so überraschender, da bei gleicher Belastung von 25 N die Auflageflächen deutlich größer waren und angenommen werden kann, dass dadurch die Belastung, die Auflagekraft pro Fläche, tatsächlich geringer im Vergleich zu den anderen Serien waren. Die in Tabelle 4 enthaltenen Ergebnisse der Signifikanzprüfungen stützen diese Beobachtung.

Zur Bewertung des Einflusses der Abriebzeit auf die Abriebfestigkeit wurden zunächst Versuche mit 14 Stunden und 7 Stunden Dauer durchgeführt.

Die in der Abbildung 8 zusammengefassten Ergebnisse zeigen, dass Postaris bei längerer Beanspruchung signifikant höhere Abriebverluste erzielt als Polystar LUX HK beziehungsweise Vitapan. Allerdings ist der nahezu gleiche Abrieb nach 14 Stunden beziehungsweise 7 Stunden im Falle von Polystar LUX HK ein wenig überraschend.

Aus diesem Grunde wurden im Anschluss an die erste eine weitere Versuchreihe abgeschlossen, wobei die Zähne über zwei- beziehungsweise viermal 7 Stunden den oben genannten Abriebbeanspruchungen ausgesetzt wurden. Die Abbildung 9 zeigt den

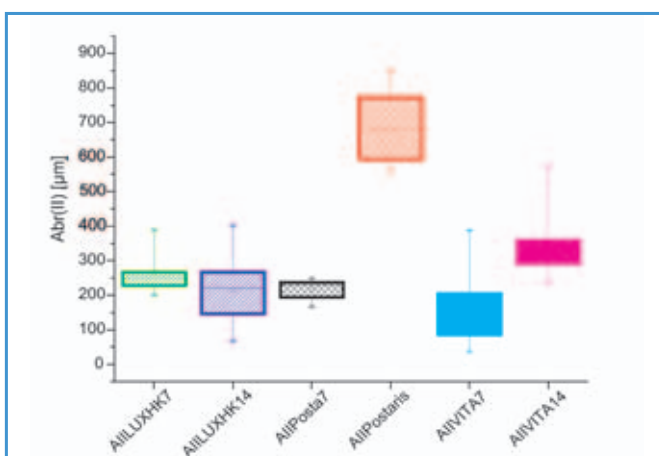


Abb. 8 Vergleich der Abrasionsfestigkeit nach 14 beziehungsweise sieben Stunden Belastung.

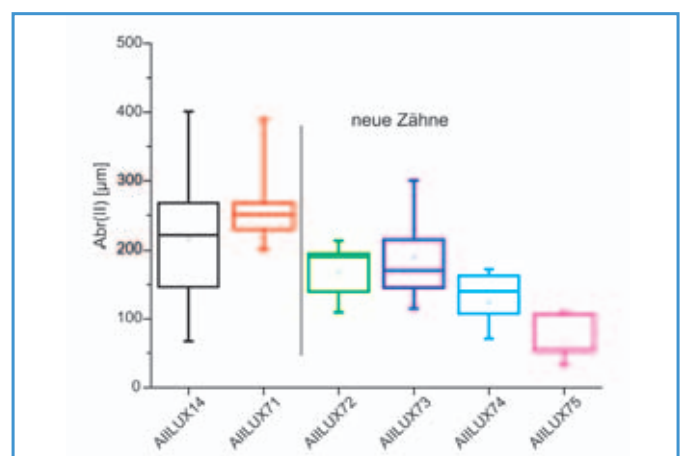


Abb. 9 Abrasionsfestigkeit von Polystar LUX HK in Abhängigkeit von der Wiederholung der Abriebbeanspruchungen mit einem Zeitintervall von sieben Stunden.

Tabelle 4: Ergebnisse der Signifikanzprüfung, p=0,01

	Integral	LUXHK	Postaris	Premium 8	Vitapan	Genios P
Integral	-	n.s.	s.	s.	s.	s.
LUX HK	n.s.	-	s.	s.	s.	s.
Postaris	0,0003	0,00772	-	s.	n.s.	s.
Premium 8	0,00014	0,00008	0,000017	-	s.	n.s.
Vitapan	0,0000046	0,0000016	0,1	0,000004	-	
Genios P	0,00049	0,00017	0,0000043	0,015	s.	-

Höhenverlust, Abr(II), nach verschiedenen 7 Stunden-Zyklen für Polystar LUX HK. Es wird deutlich, dass mit zunehmender Zyklenzahl der je Zyklus ermittelte Abrieb geringer wird. Dies gilt auch für den in Abbildung 10 dargestellten Vergleich von Integral und Polystar LUX HK nach jeweils vier 7-stündigen Abriebzyklen. Es scheint, dass Zähne der Serie Polystar LUX HK etwas abriebfester als die der Serie Integral sind. Die zeitliche Änderung der Abriebfestigkeit ist in Abbildung 11 für alle untersuchten Kunststoffmaterialien zusammengefasst dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Abriebwerte je Zeitstufe in Beziehung zu Vitapan als Referenz gesetzt. Die so erhaltenen Werte, zusammengestellt in Tabelle 6, weisen darauf hin, dass man die untersuchten Materialien in zwei Gruppen einteilen kann. Die eine Gruppe, Polystar LUX HK, Postaris und Integral, die eine im Vergleich zu Vitapan verringerte Abriebfestigkeit in einem Bereich von 12 % bis 20 % aufweist sowie die andere Gruppe, Premium 8 und Genios P, die einen deutlich höheren Abrieb aufweist, und zwar mit Werten zwischen 20 % und 39 %. Dies macht deutlich, dass auch mit „nur“ vernetzten, das heißt ungefüllten Kunststoffzähnen, ent-

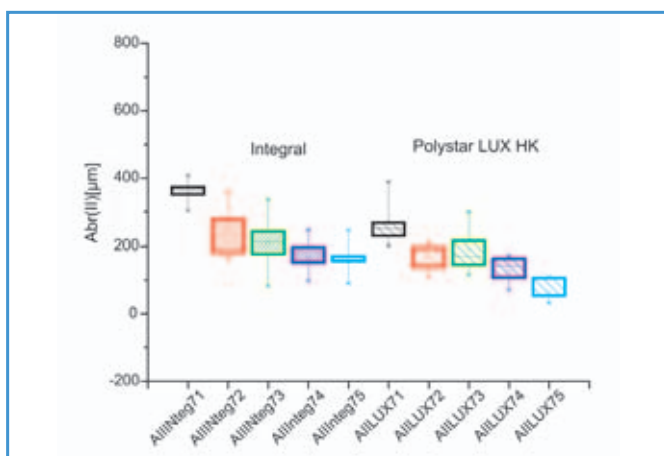


Abb. 10 Vergleich der Abriebfestigkeit von Polystar LUX HK mit Integral nach wiederholten Abriebbeanspruchungsintervallen von sieben Stunden.

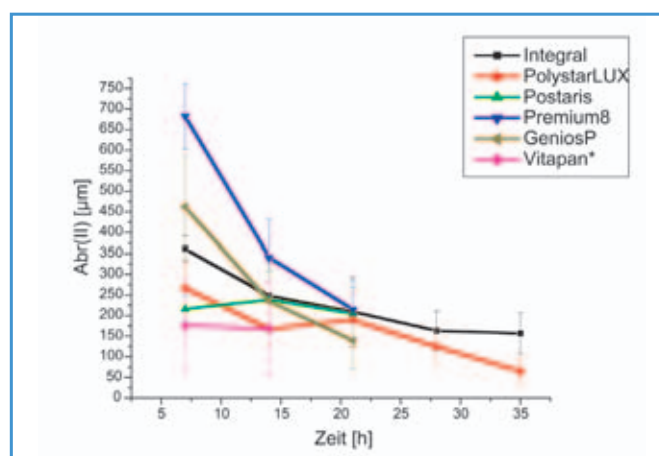


Abb. 11 Zeitliche Änderung der Abriebfestigkeit nach wiederholten 7-stündigen Belastungszyklen (* Werte aus der ersten Serie berechnet).



sprechende Abrasionsfestigkeiten erreicht werden können. Die Bewertung der Abrasionsfestigkeit über die Bestimmung des Volumenverlustes in Kombination mit der jeweils beanspruchten Fläche führt zu verlässlichen Werten. Im Gegensatz zur Prüfung an zylindrischen Prüfkörpern kann es bei der Prüfung an real geformten künstlichen Zähnen zu einer sich im Verlaufe der Untersuchungen verändernden Größe der Abriebfläche kommen. Dies hat zwangsläufig zur Folge, dass die Belastung, nämlich der Quotient aus Auflagekraft, in diesem Falle 25 N, und Abriebfläche, über die Dauer der Untersuchung hin nicht konstant ist. Dies wird beim Vergleich von Abr(I) mit Abr(II) deutlich. Nun wäre zu erwarten, dass mit steigender Abriebfläche auch die Belastung und somit der Gesamtabrieb kleiner wird. Dies ist aber offensichtlich nicht der Fall. Hier wird nun eine Normierung bezüglich der Abriebfläche oder eben bezüglich der Belastung notwendig, will man zu verlässlichen Daten kommen und auch die Möglichkeit des Vergleichs verschiedener Materialien haben.

Allerdings sollte die Flächenveränderung und die damit verbundene Veränderung der Beanspruchung ebenfalls mit dargestellt und ausgewertet werden. Hier zeigt sich im Falle der Zunahme des Abriebs mit Vergrößerung der Abriebfläche, dass materialbedingte Veränderungen eintreten, die zu einem sehr viel höheren Verschleiß führen können. Dies ist insbesondere dann auffällig, wenn man die schützende äußere Schicht abgerieben hat und die im Inneren befindlichen weniger stabilen Schichten belastet. Hier gibt es sicher Unterschiede, die in weiteren Untersuchungen geprüft werden müssen.

Die in den Abbildungen 11 und 12 dargestellten Ergebnisse lassen verschiedene Schlüsse zu:

So zeigt sich zunächst, dass mit der Zeit und der damit verbundenen Zunahme der Fläche der Höhenverlust abnimmt und sich im Vergleich der untersuchten Materialien annähernd gleiche Abriebfestigkeiten einstellen. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass der Höhenverlust, deutlicher dargestellt in Abbildung 12 in Form des kumulativen

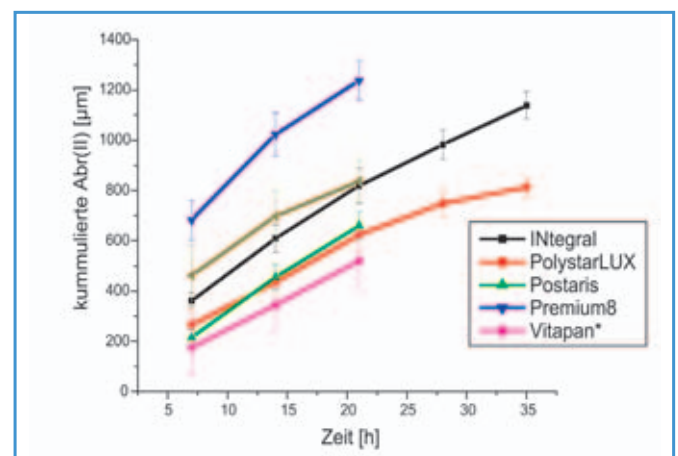


Abbildung 12



Tabelle 5: Abrieb [μm]

Kunststoffzahnsorte	Anzahl der Zähne	Abrieb [μm]
Integral	8	361,29 \pm 30,81
Polystar LUX HK*	8	266,63 \pm 64,77
Postaris*	8	216,08 \pm 30,75
Premium 8	8	682,37 \pm 79,43
Genios P	8	462,18 \pm 124,12
Vitapan *	8	175,98 \pm 112,20

*nach vorheriger 14-stündiger Abriebbelastung

Tabelle 6: Relativer Vergleich der Abriebfestigkeiten der untersuchten Kunststoffzähne bezüglich Vitapan

Integral	Polystar	Postaris	Premium 8	Vitapan	Genios P
2,05	1,51	1,22	3,88	1	2,63
1,77	1,25	1,32	2,97	1	2,02
1,57	1,2	1,26	2,38	1	1,61

Abriebs, deutliche Unterschiede in der Abrasionsfestigkeit der untersuchten Kunststoffzahnsorten sichtbar werden lässt. Diese Unterschiede sind in erster Näherung auf Unterschiede in der Qualität der Oberflächengüte zurückzuführen. Um dies zu stützen, bedarf es zusätzlicher Untersuchungen, wie zum Beispiel parallel durchgeführter Härtemessungen.

Anhand der hier vorgestellten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Abrasionsfestigkeit mit der Zeit steigt, was unter anderem auf eine Vergrößerung der Abriebläche, aber auch auf eine Verdichtung der Oberfläche zurückgeführt werden kann. Allerdings wurde auch gezeigt, dass die Abrasionsfestigkeit durch die Qualität der Oberflächengüte beeinflusst wird. Im Rahmen dieser Untersuchungen wiesen Polystar LUX HK, Postaris und Integral Abriebfestigkeiten auf, die nur in einem Bereich von 10 % bis 20 % von der des als Referenzmaterial genutzten Vitapans abwichen. Premium 8 und Genios P fielen insbesondere durch eine sehr hohe Abrasion in den ersten Versuchszyklen auf, was auf eine reduzierte Stabilität der Oberflächenschicht im Vergleich zu den anderen untersuchten Materialien schließen lässt.

Die für diese Untersuchungen gewählte Methode der Gleitreibung sowie die Technik zur Bestimmung der Abriebläche bietet die Möglichkeit, reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse mit einem vertretbaren Aufwand zu erhalten.

Schlussfolgerung



- Literatur**
1. *Bieske, R. H.*: Neue Methode zur Untersuchung der Abriebfestigkeit zahnärztlicher Materialien. Dtsch Stomat 18, 565-572 (1968).
 2. *Coeffey, J. P., Goodkind, R. J., DeLong, R. und Douglas, W. H.*: In vitro study of the wear characteristics of natural and artificial teeth. J Prosthet Dent, Vol.54, 2, 273-280 (1985).
 3. *Douglas, W. H., DeLong, R. und Pintado, M. R.*: Wear Rates of Artificial Denture Teeth Opposed by Natural Dentition. J Clin Dent 4, 43-47 (1993).
 4. *Felgentref, W., Felgentreff, K. und Tappe, A.*: Zur Abrasionsfestigkeit zahnärztlicher Materialien. Stomatol. DDR 28, 200-205 (1978).
 5. *Leinfelder, K. F.*: In-Vitro-Abrasion von ausgewählten Prothesenzähnen. Quintessenz Zahntech 20, 11, 1501-1507 (1971).
 6. *Lucke, T.*: Zur Untersuchung der Abrasionsfestigkeit künstlicher Zähne und des Zahnschmelzes. Diss., Berlin 1997.
 7. *Tappe, A. und Kubisch, V.*: Die Ermittlung der Abrasionsfestigkeit von Kunststoffzähnen in vitro an verschiedenen Zahngrößen und -formen. Dtsch. Stomatol. 41, 472-474 (1991).
 8. *Tappe, A., Kubisch, V. und Schneider, S.*: Zur Abrasionsfestigkeit von Kunststoffzähnen-Eine in-vitro-Untersuchung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 102, 1467-1472 (1992).
 9. *Weber, H.*: Klinische und experimentelle Untersuchungen zur Frage der Abrasionsfestigkeit von Isosit unter besonderer Berücksichtigung der Problematik der Abrasionstestung. Quintessenz 31, 1, 117-124 (1980).
 10. *Whitman, D. J., McKinney, J. E., Hinman, R. W., Hesby, R. A. und Pellen, G. B.*: In vitro wear rates of three types of commercial denture tooth materials. J Prosthet Dent 57, 2, 243-246 (1987).

Adresse der Verfasser Dr. Wolf-Dieter Müller, Christiane Schöpf, Prof. Dr. Klaus-Peter Lange
 Abt. f. Prothetik und Alterszahnheilkunde, Zentrum für Zahnmedizin, Universitätsklinikum Charité
 Humboldt-Universität zu Berlin, Föhrerstraße 15, D-15353 Berlin, E-Mail: wolf-dieter.mueller@charite.de