

4. Ergebnisse

4.1. Bruchlastmessung

Von 160 erstellten Proben können 158 in die statistische Auswertung übernommen werden. Jeweils eine Probe in dem System Cosmo/GIZ und dem System HTGlas/PanF muss aufgrund von Mängeln aus den statistischen Auswertungen ausgeschlossen werden (siehe 4.1.2 und 4.1.5).

Die Bruchkraft der 158 in die Auswertung eingegangenen Proben gibt Abb. 4.1 wieder.

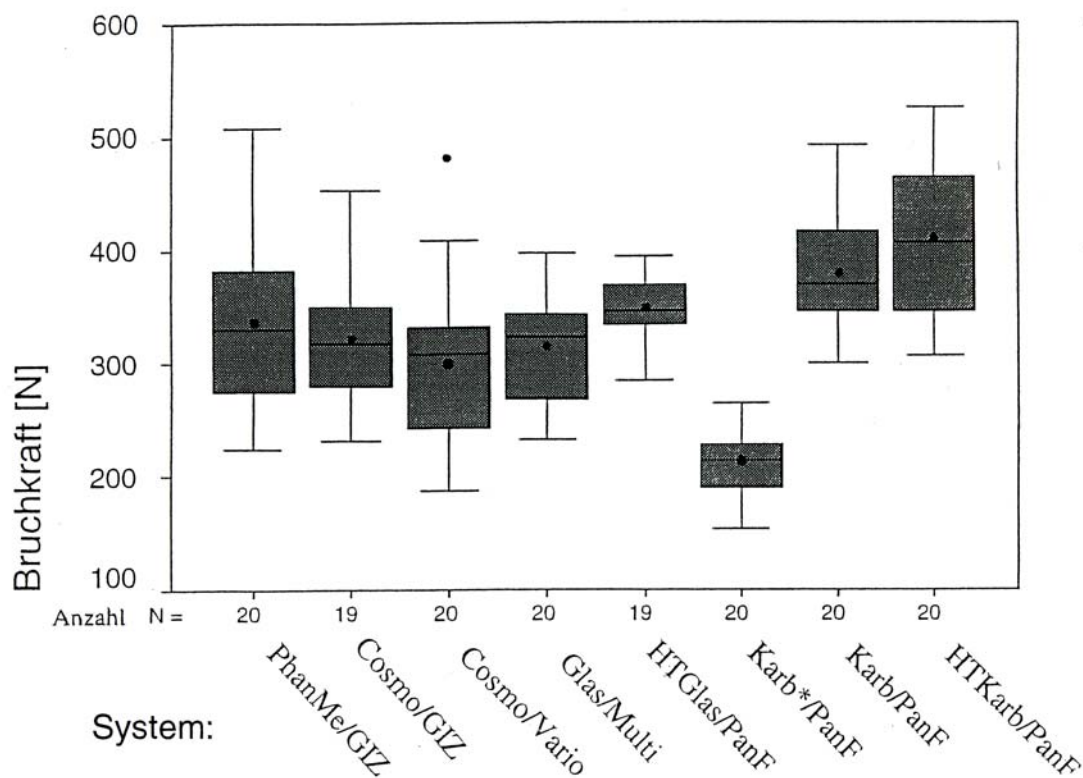


Abb. 4.1: Box-Plot-Diagramm der gemessenen Bruchkräfte

4.1.1. PhantomMetall Stiftstumpfaufbauten mit Glasionerzement eingesetzt (PhanMe/GIZ)

In dem PhanMe/GIZ-System ergab sich ein Mittelwert von 339,9 Newton (N) für 20 Proben. Bei einer Standardabweichung von 74,7 N liegt der niedrigste Kraftwert mit 223,8 N bei der Probe 20 und der höchste Wert mit 507,5 N bei der Probe 10 vor. Weiterhin ist der Box-Plot-Grafik in Abb. 4.1 zu entnehmen, dass eine rechtsschiefe Verteilung vorliegt.

Median \tilde{x} [N]	Arithmetisches Mittel (\bar{x}) [N]	Standardab- weichung (s) [N]	Minimalwert x_{\min} [N]	Maximalwert x_{\max} [N]
330,0	339,9	74,7	223,8	507,5

4.1.2. Zirkonoxidkeramik Stiftstumpfaufbauten mit Glasionerzement eingesetzt (Cosmo/GIZ)

In dem System Cosmo/GIZ wurden 19 Proben ausgewertet. Eine Probe konnte aufgrund einer fehlerhaften Bedienung der Instron-Prüfmaschine und einer resultierenden Vorbelastung nicht ausgewertet werden. Der Mittelwert des Cosmo/GIZ-Systems liegt bei 321,6 N mit einer geringeren Standardabweichung von 56,3 N. Den niedrigsten Kraftwert bis zum Bruch erzielte Probe 1 mit 231,4 Newton. Der maximal erreichte Kraftwert dieses Stiftsystems liegt bei 453,0 Newton und wurde mit der Probe Nummer 4 erzielt.

\tilde{x} [N]	\bar{x} [N]	s [N]	x_{\min} [N]	x_{\max} [N]
318,5	321,5	56,3	231,4	453,0

4.1.3. Zirkonoxidkeramik Stiftaufbau mit Komposit eingesetzt (Cosmo/Vario)

In dem Cosmo/Vario-System wurde ein tendenziell geringerer Mittelwert bei 302,4 N mit 20 Proben erzielt. Die relativ hohe Standardabweichung von 76,1 N (25,2 %) erklärt sich aus der starken Bruchlast der Probe 11; mit 496,0 N liefert sie den mit Abstand höchsten Frakturwiderstand, der auch als Extremwert innerhalb des Systems bezeichnet werden kann. Alle anderen Werte dieses Untersuchungssystems liegen mindestens um

87 Newton unter dem höchst Wert, wie auch die Box-Plot-Grafik wiedergibt. Den kleinsten Frakturwiderstand zeigt Probe 17 mit 187,4 N.

\tilde{x} [N]	\bar{x} [N]	s [N]	x_{\min} [N]	x_{\max} [N]
308,7	302,4	76,1	187,4	496,0

4.1.4. Glasfaserverstärkte Kunststoff-Stiftstumpfaufbauten mit Komposit eingesetzt (Glas/Multi)

In dem Glas/Multi-System, bestehend aus Glasfaserstiften FRC Postec, wurde ein Mittelwert von 310,0 N festgestellt. Der geringste Kraftwert ergab sich bei Probe Nr. 6 mit 233,5 N, der höchste erzielte Kraftwert von 396,9 N findet sich bei Probe 10. Die Standardabweichung liegt bei 45,9 N.

\tilde{x} [N]	\bar{x} [N]	s [N]	x_{\min} [N]	x_{\max} [N]
323,8	310,0	45,9	233,5	396,9

4.1.5. Glasfaserverstärkte Kunststoff-Stiftstumpfaufbauten mit Komposit eingesetzt (HTGlas/PanF)

Ebenfalls mit Panavia F sind die high tensile Glasfaserstifte der Firma Hahnenkratt in den Zähnen befestigt worden. Alle Werte liegen, bei einer Standardabweichung von 29,1 N dicht um den Median von 345,8 N geschart, sodass auch der Mittelwert mit 348,8 N kaum abweicht. Der höchste Frakturwiderstand wurde in Höhe von 394,9 N mit Probe 12 erzielt. Den geringsten Widerstand zeigte Probe 19 mit 285,3 N. Die Probe 17 konnte hier nicht in die Auswertungen einfließen, da die erste Fraktur der Probe von der Prüfvorrichtung nicht erkannt wurde und die Probe folglich zweimal brach, was aus einem Kraftabfall während der Belastung hervorging. Der Bruchwert ist zur Vollständigkeit in Tab. 9.1 in Klammern gesetzt mit angegeben, fließt aber nicht in die Auswertung ein.

\tilde{x} [N]	\bar{x} [N]	s [N]	x_{\min} [N]	x_{\max} [N]
345,8	348,8	29,1	285,3	394,9

4.1.6. Karbonfaserverstärkte, angeraute Kunststoff-Stiftstumpfaufbauten mit Komposit befestigt (Karb*/PanF)

Mit Panavia F befestigte Mirafit black Karbonfaserstifte, die oberflächenbehandelt wurden und einen Aufbau aus Kompositmaterial erhielten, bilden den deutlich niedrigsten Mittelwert mit 213,8 N. Die Standardabweichung liegt hier bei 27,4 N. Den niedrigsten Wert mit 152,7 N erlangte Probe 9 und mit 265,3 N wies Probe 6 den höchsten Frakturwiderstandswert auf. Alle 20 Proben konnten in die Auswertung einfließen. Die Verteilung der Werteanzahl beidseits des Medianwertes ist ähnlich einer Glockenverteilung angeordnet.

\tilde{x} [N]	\bar{x} [N]	s [N]	x_{\min} [N]	x_{\max} [N]
214,6	213,8	27,4	152,7	265,3

4.1.7. Karbonfaserverstärkte Kunststoff-Stiftstumpfaufbauten mit Komposit befestigt (Karb/PanF)

Gleiche Mirafit black Karbonfaserstifte zeigen ohne vorheriges Abstrahlen der Stiftoberfläche einen hohen arithmetischen Mittelwert der Frakturwerte von 380,0 N. Die Werte streuen oberhalb des Medianwertes von 369,7 N stärker als darunter, sodass der Wert des arithmetischen Mittels mit 382,3 N höher liegt als der Median. Probe 17 besitzt den niedrigsten Frakturwiderstandswert mit 300,0 N, Probe 18 mit 491,5 N den höchsten .

\tilde{x} [N]	\bar{x} [N]	s [N]	x_{\min} [N]	x_{\max} [N]
369, 7	382,3	47,6	300,0	491,5

4.1.8. Karbonfaserverstärkte Kunststoff-Stiftstumpfaufbauten mit Komposit befestigt (HTKarb/PanF)

Die Bruchwerte der 20 HTKarb/PanF Proben ergeben den höchsten arithmetischen Mittelwert mit 407,0 N. Die Standardabweichung liegt hier bei 62,2 N. Der niedrigste Widerstandswert beträgt 306,8 N bei Probe 2, der größte Wert mit 525,0 N wird mit Probe 19 erreicht.

\tilde{x} [N]	\bar{x} [N]	s [N]	x_{\min} [N]	x_{\max} [N]
405,9	407,0	62,2	306,8	525,0

4.2. Verlauf der Bruchflächen

Die Frakturverläufe aller Proben und ihre Anzahl wird in Abb. 4.3 wiedergegeben.

Eine Beschreibung derselben wird im Folgenden gegeben.

In dem Vergleichssystem mit Phantommetallstift-Versorgungen (**PhanMe/GIZ**) kam es zu einer Wurzelfrakturhäufigkeit von 100 %. Alle Proben zeigen eine charakteristische Schrägfraktur im Wurzelbereich, die von zervikoapproximal nach vestibuloapikal verläuft.

In dem System der konventionell zementierten Keramikstifte (**Cosmo/GIZ**) traten 15 Wurzelbrüche bei einer Gesamtanzahl von 19 Proben auf. Eine Schrägfraktur der Wurzel, mit einer Trennung des Aufbaus von der Wurzeloberfläche, ohne sichtbare Fraktur des Stiftstumpaufbaus ist an 10 der 15 Wurzelbrüche festzustellen. Die restlichen fünf Wurzelbrüche gingen mit einem Versagen des Stiftstumpaufbaus einher; Stift und Aufbau brachen unterhalb des Kanalinlays.

Von den restlichen vier Zähnen frakturierten drei im Bereich ihres Aufbaus ohne Stift- oder Wurzelbruch. Bei dem vierten Zahn blieb die Wurzel zwar intakt, aber der Aufbau und der Stift brachen oberhalb des Kanalinlays ab.

Die adhäsiv befestigten Keramikstifte (**Cosmo/Vario**) zeigten Wurzelbrüche bei 18 von 20 Proben. Bei 8 der 18 Wurzelbrüche zeigte die Wurzel eine Schrägfraktur, wobei der Stiftstumpaufbau sich lediglich von der Wurzel löste. Sieben der Wurzelbrüche zeigten zusätzlich eine Absplitterung des vestibulären Zahnfragmentes und ein vollständiges Wegbrechen des Aufbaus und des Stiftes unterhalb des Kanalinlays. Eine der 18 Proben zeigte gleiche Frakturen, nur splitterte hier kein Zahnfragment ab. Die restlichen zwei Wurzelbrüche verliefen senkrecht auf der Mitte der mesialen und distalen Zahnfläche nach apikal; der Stiftstumpaufbau blieb intakt. Von den zwei Proben ohne Wurzelbruch löste sich bei der einen die Haftung vom Aufbau zur Zahnoberfläche; bei der anderen sprang der Aufbau unilateral und vestibulär ab und legte teilweise den Zirkonoxidstift frei.

Von den 20 Proben mit FRC Postec Stiften (**Glas/Multi**) weisen 16 Wurzelfrakturen und 4 lediglich Defekte im Aufbau auf. 13 der 16 Wurzelfrakturen verlaufen schräg nach apikal. Der Ansatz liegt von approximal betrachtet im mittleren bis oralen Zahn-

drittel und verläuft dann nach vestibulär, um in der Kunststoffeinbettung zu enden. Drei Proben zeigen vertikale Wurzelbrüche in Zahnachsrichtung. Bei zwei der vier Proben ohne Wurzelbruch, ist der Aufbau vollständig abgesprungen. Das präparierte Kanalinlay ist aber noch mit Aufbaumaterial gefüllt und der Stift zeigt keine Frakturen. Die übrigen zwei Proben erlitten Sprünge innerhalb des Aufbaus, der zu Teilen auch abplatzte.

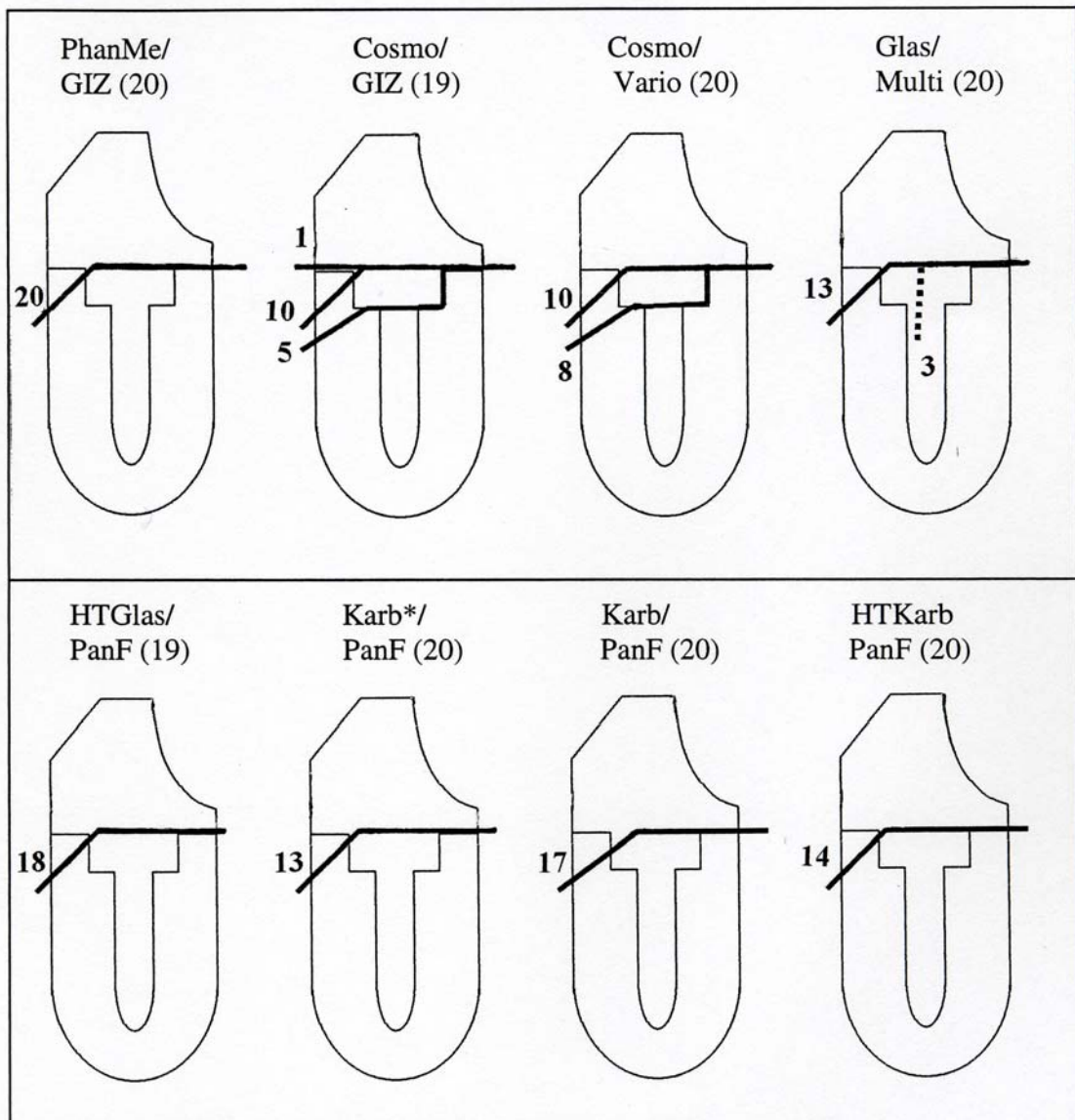


Abb. 4.2: Skizzierung der Bruchverläufe in den Untersuchungs-Systemen
Aufgrund der Vielfalt der Aufbaudefekte wurden diese für eine übersichtlichere Darstellung aus der Skizzierung ausgeschlossen.

18 der 19 Proben, die mit HT Cytec blanco Stiften versehen wurden (**HTGlas/PanF**), brachen im Bereich der Wurzel mit typischer Schrägfraktur. Nur eine Probe weist keine Fraktur des Zahnes auf; hier ist der Aufbau lateral senkrecht abgesplittert mit teilweiser Freilegung des Stiftes. Glasfasern sind an den Aufbausplittern haften geblieben.

Von den mit Korund abgestrahlten Karbonfaserstiften Mirafit black (**Karb*/PanF**), zeigten 13 der 20 Proben schräge Wurzelbrüche. Die restlichen sieben Proben zeichnen sich durch einen Haftungsverlust zwischen Wurzeloberfläche und Aufbau aus; der Aufbau blieb größtenteils intakt.

17 von 20 Mirafit black Proben (**Karb/PanF**) frakturierten im Bereich der Wurzel schräg. Die weiteren drei Proben brachen im Aufbaumaterial, wobei die auf Zug belastete Seite palatinal stehen blieb und restliche Aufbauanteile abplatzten. An den Karbonfaserstiften fanden sich Reste von Zement.

Schräge Wurzelfrakturen konnten an 14 der mit HT Cytec carbon versorgten Zähne (**HTKarb/PanF**) nach Belastung bis zum Bruch festgestellt werden. Zwei dieser Proben zeigten auch Abplatzungen im Aufbaubereich. Die nicht im Wurzelbereich frakturierten Proben zeigten wie die Karb/PanF-Proben Abplatzungen des auf Druck belasteten Aufbauanteils vestibulär. Palatinal blieb dieser fast immer intakt.

Aufgrund der Vielzahl der untersuchten Stiftstumpfaufbausysteme und der Frakturmöglichkeiten ist eine statistische Auswertung der Frakturqualitäten nicht sinnvoll. Um aber trotzdem eine Wertung der Frakturverläufe vornehmen zu können, wurden sie auf Stiftbrüche und Wurzelfrakturen untersucht (Tab. 4.1).

Eine hohe Anzahl von mehr als 90 % der Wurzelbrüche lag in dem Phantommetall-System, dem Stiftsystem der unbehandelten Mirafit black-Stifte und dem System der adhäsiv befestigten CosmoPost-Stifte vor.

Im Mittelfeld mit 79 % und 80 % Wurzelbrüchen lagen die Systeme der mit Glasionomerzement befestigten CosmoPost-Stifte bzw. der Glasfaserverstärkten FRC Postec-Stifte und mit 85 % das System mit karbonfaserverstärkten Stiften Mirafit black.

Relativ niedrig ist die Rate der Wurzelbrüche bei oberflächenbehandelten Mirafit black-Stiften (65 %) und HT Cytec carbon Stiften (70 %).

Auffällig ist ein weiteres Frakturcharakteristikum in den Systemen mit Keramikstift-Versorgung. Hier sind insgesamt 13 von 39 Stiften, das sind 36 %, gebrochen. Sie brachen unterhalb des Kanalinlays; nur ein Stift versagte oberhalb der Kanalpräparation direkt unter der Aufbaufläche. Alle anderen Proben zeigten keine Brüche im Stiftsystem.

Tab. 4.1: Einteilung der Frakturverläufe der Untersuchungs-Systeme

System- abkürzung (Probenzahl)	Kein Wurzelbruch			Wurzelbruch		
	Dazu Defekt an:		Total	Dazu Defekt an:		Total
	Aufbau	Aufbau u. Stift		Aufbau	Aufbau u. Stift	
PhanMe/GIZ (20)	0	0	0	20	0	20 (100 %)
Cosmo/GIZ (19)	3	1	4	10	5	15 (79 %)
Cosmo/Vario (20)	2	0	2	10	8	18 (90 %)
Glas/Multi (20)	4	0	4	16	0	16 (80 %)
HTGlas/PanF (19)	1	0	1	18	0	18 (95 %)
Karb*/PanF (20)	7	0	7	13	0	13 (65 %)
Karb/PanF (20)	3	0	3	17	0	17 (85 %)
HTKarb/PanF (20)	6	0	6	14	0	14 (70 %)

4.3. Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Bruchlastwerte sind zusammenfassend in Tab. 4.2 dargestellt und werden im folgenden erläutert.

Tab. 4.2: Ergebnisse der Signifikanzuntersuchung aller Stiftsysteme untereinander

System	Cosmo/ GIZ	Cosmo/ Vario	Glas/ Multi	HTGlas/ PanF	Karb*/ PanF	Karb/ PanF	HTKarb/ PanF
PhanMe/ GIZ	—	—	—	—	++	+	++
Cosmo/ GIZ		—	—	+	++	++	++
Cosmo/ Vario			—	++	++	++	++
Glas/ Multi				++	++	++	++
HTGlas/ PanF					++	+	++
Karb*/ PanF						++	++
Karb/ PanF							—
HTKarb/ PanF							
+ = signifikant, Wahrscheinlichkeit des Unterschiedes > 95 % ++ = hochsignifikant, Wahrscheinlichkeit des Unterschiedes > 99 %							

4.3.1. Metallische Stifte

Das Vergleichs-System PhanMe/GIZ, zeigt weder zu den Keramikstift-, noch zu den Glasfaserstift-Systemen signifikante Bruchlastunterschiede.

Zu den Faserstiftproben aus Karbon bestehen signifikante (Karb/PanF $p \leq 0,05$) und hochsignifikante (HTKarb/PanF $p \leq 0,01$) Unterschiede. Deutlich unter den PhanMe/GIZ Werten liegen die Karb*/PanF Bruchlasten.

4.3.2. Keramikstifte

Die CosmoPost Stiftsysteme untereinander besitzen keine Signifikanzen. Ebenso bestehen keine Bruchlastunterschiede zu den Glasfaserstiften. Einzig die HT Cytec Glasfaserstifte zeigen - wie auch die Faserstifte aus Karbon - signifikant höhere Bruchlastwerte. Oberflächenangeraute Karbonfaserstifte (Karb*/PanF) liegen weit unter den Werten der CosmoPost-Systeme.

4.3.3. Faserverstärkte Stifte

Eine deutliche Abstufung der Bruchlastwerte liegt bei den Faserstift-Systemen vor. Auffällig geringe Bruchlasten wurden mit den Karb*/PanF Proben erzielt. Ihre Werte liegen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (p) von $\leq 0,01$ % unter denen aller anderen sieben Stiftsysteme. Unter den nicht angerauten Faserstiften zeigte das Glas/Multi System mit über 99 % statistischer Signifikanz die geringsten Bruchlastwerte; danach folgt das HTGlas/PanF System, das signifikant niedrigere Werte als das Karb/PanF und hoch signifikant niedrigere Werte als das HTKarb/PanF System zeigt. Karb/PanF und HTKarb/PanF Proben unterscheiden sich statistisch hingegen nicht.