

4 VERSUCHSERGEBNISSE

4.1 Tabellarische Darstellung der Auswertung

Die Messwerte der einzelnen Versuchsreihen sind im Anhang (Kapitel 9.2) und zusammengefasst in Tabelle 4-1 aufgeführt. Für jede Reihe wurde anhand der Ergebnisse folgende Messwertstatistik erstellt.

Reihe		\bar{x}	min. max.	Rang von \bar{x}	S	V	Rang von V	Steigerung	E- Modul [MPa]	Füll- stoff- gehalt
		[N]	[N]	(2 4 8)	[N]	%	(2 4 8)	[%] (Rang)		
Dy	2	14,6	12,4 15,9	1	1,24	8,5	7		7.500	72%
	4	18,2	16,9 20,9	1	1,23	6,7	6	25 % (3)		
	8	24,6	21,5 26,8	1	1,43	5,8	6	35 % (3,5)		
Sp	2	23,0	21,5 24,3	6	0,89	3,9	4		10.500	57%
	4	29,1	27,7 31,7	6	1,10	3,8	3	27 % (4,5)		
	8	39,1	36,7 40,5	6	1,34	3,4	3	35 % (3,5)		
VD	2	29,9	28,3 32,9	7	1,56	5,2	6		7.362	55%
	4	38,2	32,8 41,6	7	2,79	7,3	7	28 % (7)		
	8	53,2	42,2 61,1	7	7,45	14,0	7	39 % (6)		
VM	2	14,6	14,0 15,8	2	0,52	3,6	3		13.240	87%
	4	18,6	17,2 20,1	2	0,89	4,8	5	27 % (4,5)		
	8	26,4	25,3 27,7	2	0,83	3,2	2	42 % (7)		
Ch	2	21,7	20,6 22,5	5	0,63	2,9	1		8.000	72%
	4	27,3	26,0 28,5	5	0,77	2,8	2	26 % (4)		
	8	35,3	33,5 37,1	5	1,23	3,5	4,5	30 % (2)		
ChF	2	18,8	17,3 19,7	4	0,79	4,2	5		8.000	79%
	4	22,1	20,7 23,7	4	0,89	3,9	4	20 % (1)		
	8	29,1	27,3 30,4	4	1,01	3,5	4,5	29 % (1)		
Du	2	17,4	16,5 18,1	3	0,55	3,2	2		6.100	57%
	4	21,2	20,8 21,9	3	0,29	1,4	1	22 % (2)		
	8	28,8	27,4 29,7	3	0,73	2,5	1	36 % (5)		

Tabelle 4-1: Zusammenfassung der Messergebnisse

In der Tabelle sind der Mittelwert \bar{x} , die Rangfolge der Mittelwerte innerhalb der Probenlängen, die Standardabweichung s , der Variationskoeffizient V sowie die Rangfolge des Variationskoeffizienten innerhalb der Probenlängen nach einer Versuchsdauer von 360 Sekunden nebeneinander angegeben. Die Ränge wurden in der jeweiligen Probenlängengruppe (2, 4, 8 mm) in aufsteigender Reihenfolge vergeben. Weiterhin ist die prozentuale Steigerung der Kraft zu der vorhergehenden Probenlänge (4 zu 2 mm, 8 zu 4 mm) mit der Rangverteilung angegeben.

Die niedrigste Zugkraft verursacht Dy2 mit 14,6 N und die maximale Zugkraft bewirkt VD8 mit 53,2 N, bei einer Haftfläche von 28,27 mm² entspricht dies einer Spannung von 0,5 und 1,9 MPa.

Nach einer Überprüfung der Daten dem D'Agostini-Test kann nicht zweifelsfrei von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden. Die zu vergleichenden Datenpaare werden mit dem Unterscheidungstest (U-Test) nach MANN und WHITNEY ausgewertet und in der folgenden Tabelle 4-2 dargestellt:

		Dy			Sp			VD			VM			Ch			ChF			Du		
		2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8
Dy	2	***	***	***	-	-	-	***	-	-	n.s.	-	-	***	-	-	***	-	-	***	-	-
	4		***	-	***	-	-	***	-	-	n.s.	-	-	**	-	-	***	-	-	-	***	-
	8			-	-	***	-	-	***	-	-	-	**	-	-	***	-	-	***	-	-	***
Sp	2				***	***	***	-	-	-	***	-	-	**	-	-	***	-	-	***	-	-
	4					***	-	***	-	-	***	-	-	***	-	-	***	-	-	-	***	-
	8						-	-	***	-	-	***	-	-	***	-	-	***	-	-	-	***
VD	2							***	***	***	-	-	-	***	-	-	***	-	-	***	-	-
	4								***	-	***	-	-	***	-	-	***	-	-	-	***	-
	8									-	-	***	-	-	***	-	-	***	-	-	-	***
VM	2										***	***	***	-	-	-	***	-	-	***	-	-
	4											***	-	***	-	-	***	-	-	-	***	-
	8												***	-	-	***	-	-	***	-	-	***
Ch	2													***	***	***	-	-	-	***	-	-
	4														***	-	***	-	-	-	***	-
	8														-	***	-	-	***	-	-	***
ChF	2																***	***	**	-	-	-
	4																	***	-	-	**	-
	8																		-	-	-	**
Du	2																			***	***	***
	4																				***	***
	8																					***

Tabelle 4-2: Hauptversuche - Zusammenfassung signifikanter Unterschiede

- = keine statistische Auswertung
- n.s. = $p > 0,05$, nicht signifikant
- * = $p \leq 0,05$, signifikanter Unterschied
- ** = $p \leq 0,01$, hoch signifikanter Unterschied
- *** = $p \leq 0,001$, mit 99,9 % Sicherheit signifikant.

4.2 Auswertung der Versuchsreihen

In den nachfolgenden Diagrammen (Abb. 4-1 bis Abb. 4-10) sind die Mittelwerte der Versuchsreihen als Kurvendiagramm dargestellt. Auf der Abszisse wird der Messzeitraum von 6 Minuten mit 360 Sekunden dargestellt, die Bestrahlungszeit ist gesondert gekennzeichnet. Auf der Ordinate ist die gemessene Kraft in Newton abgebildet. Alle Diagramme haben den gleichen Maßstab. An den Messzeitpunkten 10, 20, 30, 40, 50, 60 Sekunden und im Minutenabstand bis 6 min markieren vertikale Linien die Standardabweichung. Eine Übersicht der Messwerte ist in der Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Generell kann folgendes festgestellt werden und wird im laufenden Text nicht mehr gesondert erwähnt:

- Größere Probenlängen üben eine stärkere Zugkraft bei der Polymerisation aus.
- Der Kraftanstieg nimmt zum Ende der Messung immer stärker ab und entspricht von der Form her einer Sättigungskurve.
- Bei einer Verdoppelung der Probenlänge von 4 auf 8 mm ist die Kraftzunahme zu der vorhergehenden Größe bei allen sieben Materialien größer gegenüber einer Verdoppelung der Probenlänge von 2 auf 4 mm.
- Zum Ende der Bestrahlungszeit (60 Sekunden) beträgt die Zugkraft 51 - 75 % gegenüber dem Messwert am Versuchende (360 Sekunden).
- Zu der Messzeit 180 Sekunden beträgt die Zugkraft 89 - 93 % gegenüber dem Messwert am Versuchende.
- Nach der Bestrahlungszeit steigt die Zugkraft im Messzeitraum von 60 bis 120 Sekunden stärker an. Die Kraftzunahme nimmt nach 120 Sekunden wieder ab.

4.2.1 Unterschiedliche Probenlängen

Dyract (Dy 2,4,8)

In der Abbildung 4-1 sind die Messergebnisse von Dyract (Fa. Dentsply) mit den Versuchsreihen Dy2 (durchgehende Linie), Dy4 (lang gestrichelte Linie) und Dy8 (kurz gestrichelte Linie) abgebildet. Während der ersten Hälfte der Bestrahlungszeit steigt die durch die Polymerisationsschrumpfung bewirkte Zugkraft steil an und verläuft zwischen den verschiedenen Probenlängen nahezu parallel. In der zweiten Hälfte der Bestrahlungszeit nimmt die Steilheit ab und die Kurven teilen sich auf. Nach 180 Sekunden erreicht die Kraft 88 - 89 % des Endwertes. Zum Ende der Messung (360 Sekunden) ist kaum noch eine Steigerung sichtbar. Dyract übt von allen sieben Materialien die geringste Schrumpfkraft aus. Die Standardabweichung ist nach der Bestrahlungszeit und innerhalb des restlichen Messzeitraumes konstant, während der Variationskoeffizient mit der Probenlänge abnimmt. Der Variationskoeffizient aller drei Längen ist mit Werten zwischen 6 und 8 % hoch. Die Kraftzunahme der drei Probenlängen verläuft, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau, sehr ähnlich.

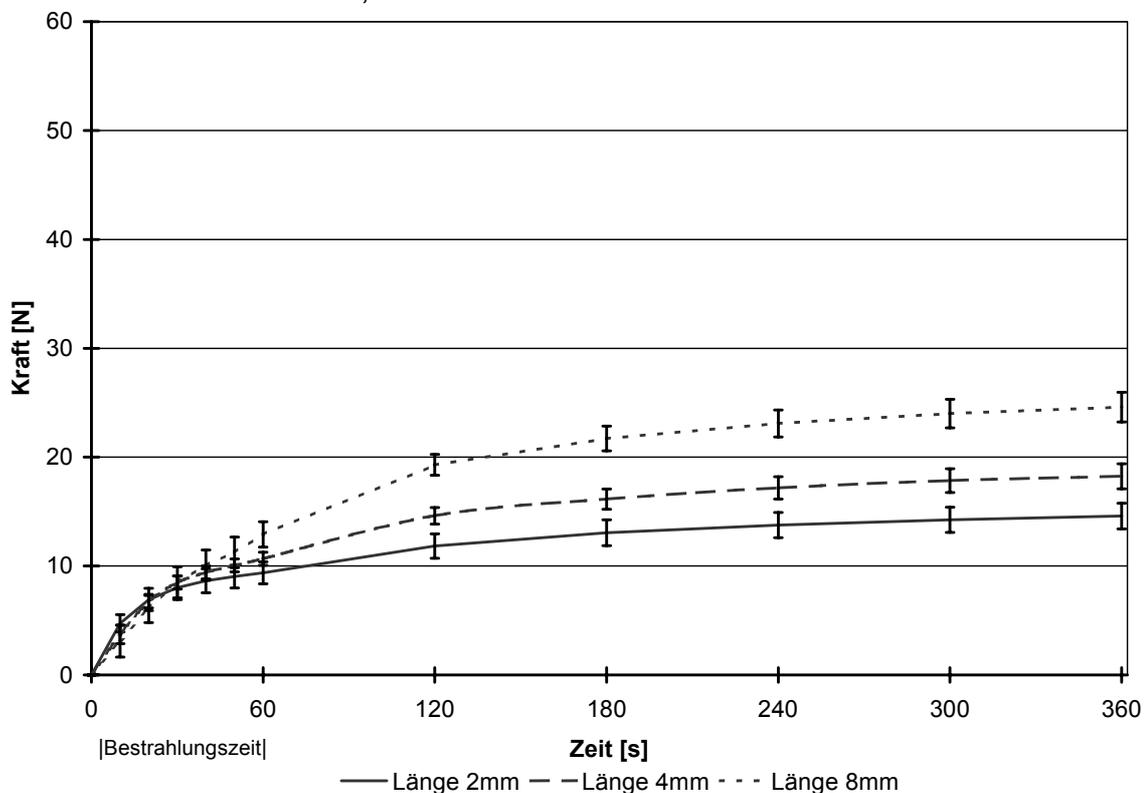


Abb. 4-1: Schrumpfkraft von Dyract (Farbe A3; Fa. Dentsply) Dy2, Dy4 und Dy8

Spectrum TPH (Sp 2,4,8)

Gegenüber den anderen Materialien steigt die Zugkraft von Spectrum TPH (Fa. Dentsply) in den ersten 10 Sekunden stark an und nach 20 Sekunden ist ein deutlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Probenlängen erkennbar (Abb. 4-2). Bereits in der zweiten Hälfte der Bestrahlungszeit nimmt die Kraftzunahme deutlich ab. Nach der Bestrahlungszeit steigt die Kraft bei den drei Probenlängen stärker gegenüber Dy2 - 8 an, flacht aber nach dem Messzeitpunkt 120 Sekunden wieder ab. Zum Ende der Messung (360 Sekunden) ist noch eine verringerte Steigerung sichtbar. Die Kräfte sind etwa doppelt so hoch wie bei Dyract: Die Standardabweichung nimmt mit der Probenlänge zu, während der Variationskoeffizient mit der Probenlänge abnimmt. Der Variationskoeffizient liegt mit Werten zwischen 3,4 – 3,9 % im mittleren Bereich. Die Kraftzunahme der drei Probenlängen verläuft, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau, ähnlich.

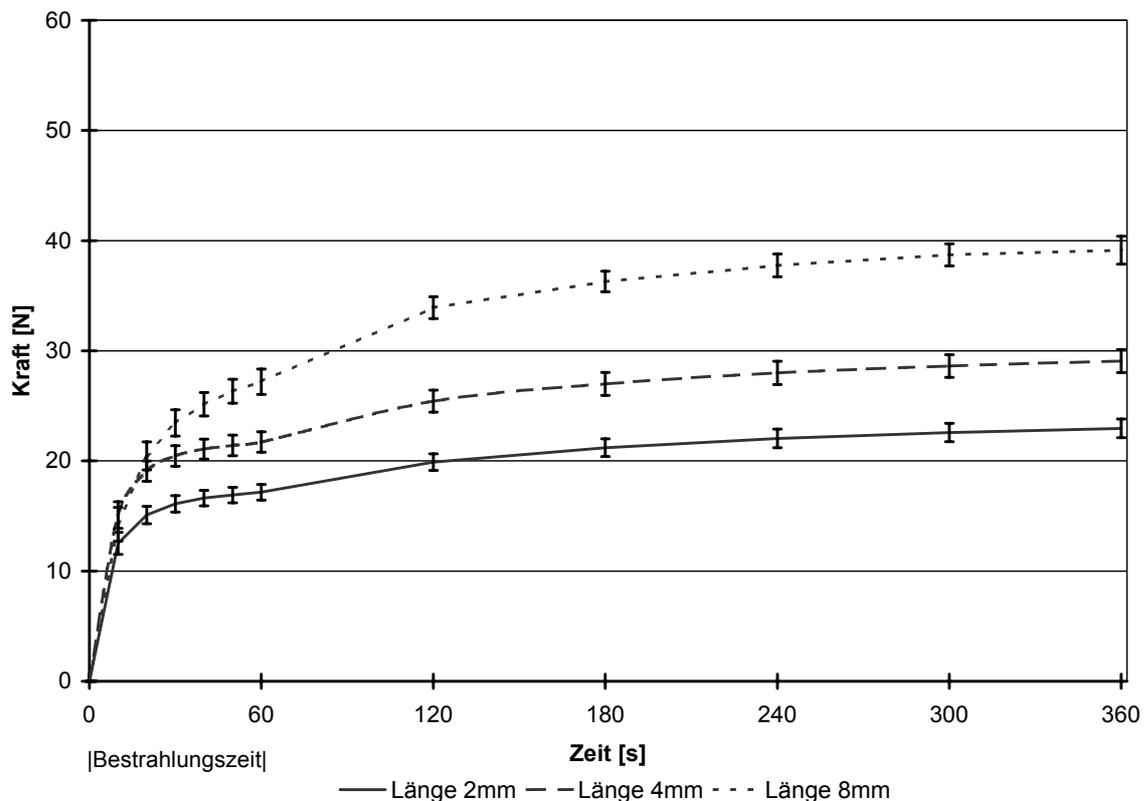


Abb. 4-2: Schrumpfungskräfte von Spectrum TPH (Farbe C2; Firma Dentsply) Sp2, Sp4 und Sp8

Visio-Dispers (VD 2,4,8)

In den ersten 10 Sekunden steigt die Zugkraft von Visio-Dispers (Fa. Espe) stark an und die Kraftzunahme verläuft bis zu einem Zeitraum von 20 Sekunden zwischen den Probenlängen ähnlich (Abb. 4-3). In der zweiten Hälfte der Bestrahlungszeit ist ein Abfall der Kraftzunahme mit deutlichem Unterschied zwischen den Probenlängen sichtbar, gegenüber den vorherigen Proben nimmt die Kraft jedoch auch nach der Bestrahlungszeit weiter deutlich zu. Nach 120 Sekunden steigt die Kraft bei der Probenlänge 8 mm gegenüber den kleineren Proben weiterhin deutlich an. Zum Ende der Messung ist bei den Probenlängen 2 und 4 mm eine Sättigung sichtbar, während die Kraft der Probe 8 mm weiter leicht ansteigt. Visio-Dispers weist die höchsten Schrumpfkraften von allen sieben Materialien auf. Außerordentlich hoch ist Standardabweichung und der Variationskoeffizient mit Werten zwischen 5 und 14 % während der gesamten Messung. Der Variationskoeffizient von 14 % bei 360 s ist der höchste gefundene. Die relative Kraftzunahme zwischen den 2 und 4 mm Proben ist mit 28 % am größten und zwischen 4 und 8 mm mit 39 % fast doppelt so stark im Vergleich zu dem Charisma F.

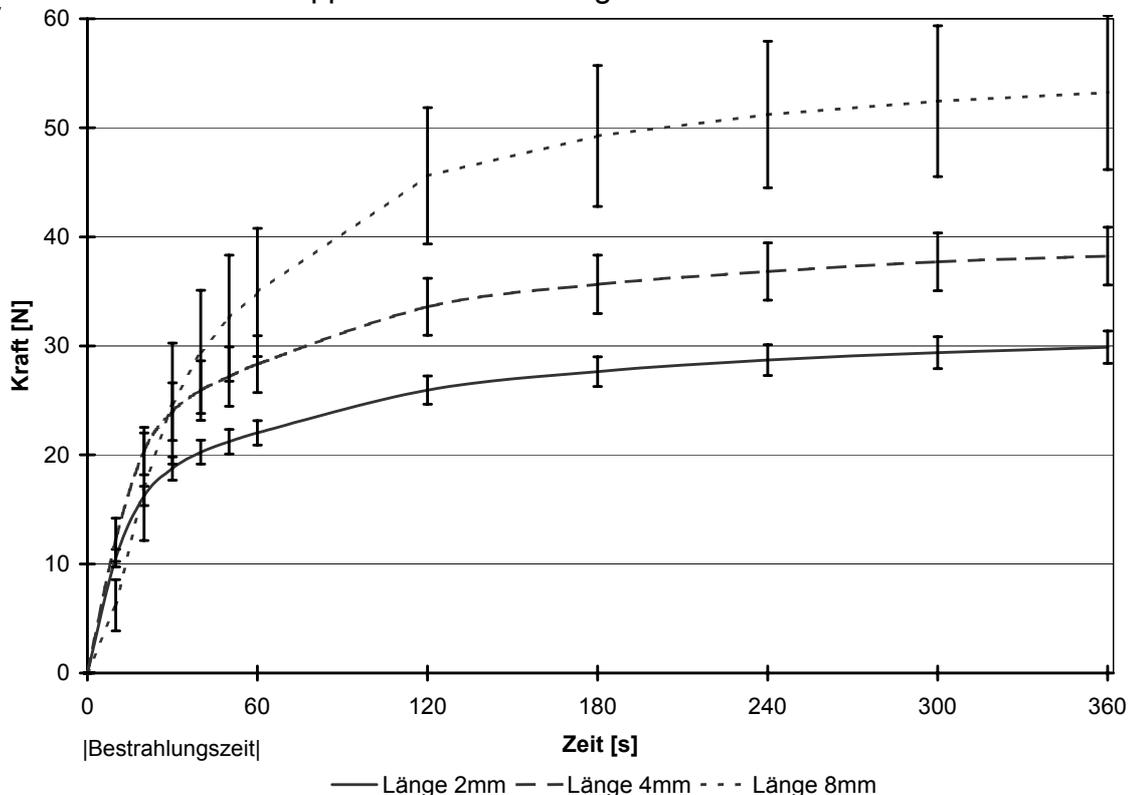


Abb. 4-3: Schrumpfkraften von Visio-Dispers (Farbe S; Firma Espe) VD2, VD4 und VD8

Visio-Molar (VM 2,4,8)

Der Kurvenverlauf von Visio-Molar (Fa. Espe, Abb. 4-4) entspricht dem der anderen Materialien. Visio-Molar übt nach Dyract (Abb. 4-1) die zweitniedrigste Schrumpfungskraft aus. Die Standardabweichung steigt von der 2 mm Probe zu den anderen Größen, während der Variationskoeffizient mit Werten zwischen 3,2 und 4,8 % weitgehend einheitlich verläuft. Die relative Kraftzunahme ist zwischen den 4 und 8 mm langen Proben mit 42 % am größten.

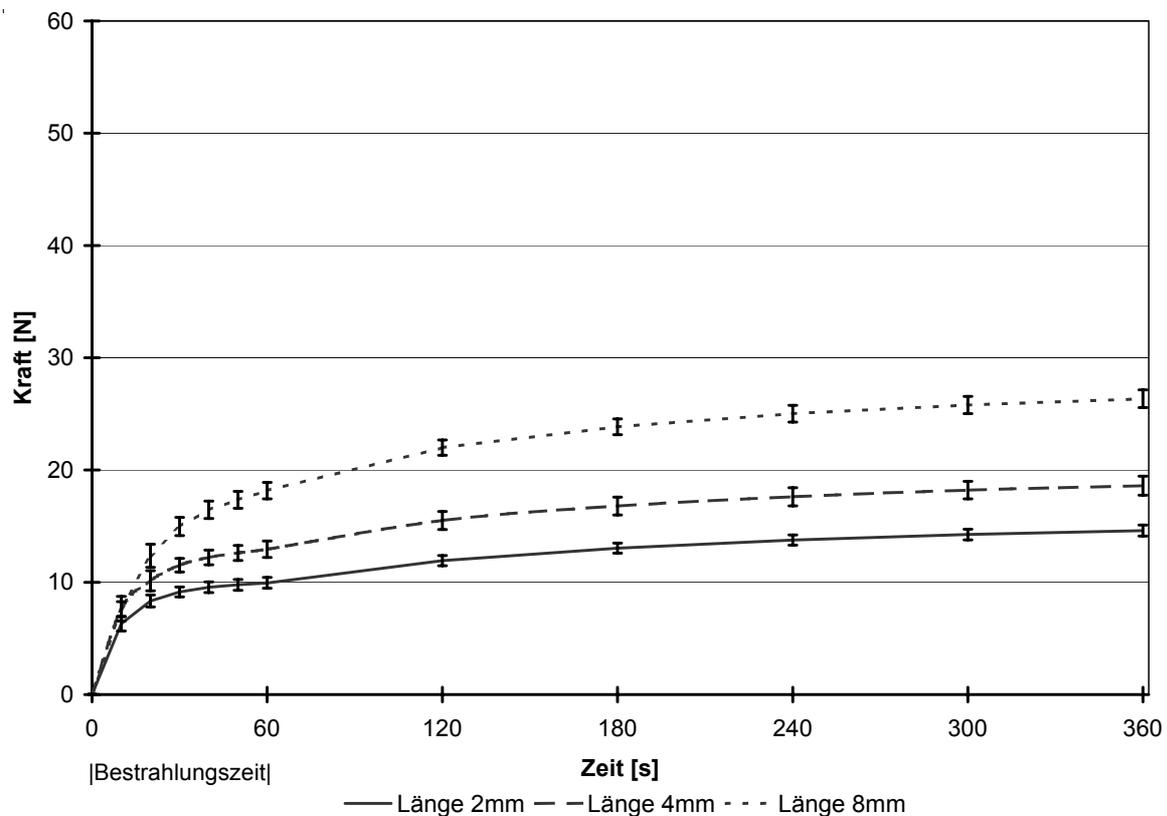


Abb. 4-4: Schrumpfungskräfte von Visio-Molar (Farbe S; Firma Espe) VM2, VM4 und VM8

Charisma (Ch 2,4,8)

Der Kurvenverlauf von Charisma (Fa. Kulzer, Abb. 4-5) entspricht dem der anderen Materialien. Die Zugkraft von Charisma liegt zwischen der von Spectrum TPH (Abb. 4-2) und Charisma F (Abb. 4-6). Die Kraftzunahme der drei Probenlängen verläuft, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau, sehr ähnlich. Die Standardabweichung und der Variationskoeffizient nehmen mit der Probenlänge zu und der Variationskoeffizient liegt mit rund 3 % im unteren Bereich. Die relative Kraftzunahme zwischen den 4 und 8 mm langen Proben liegt mit 30 % im unteren Bereich (Abb. 4-5).

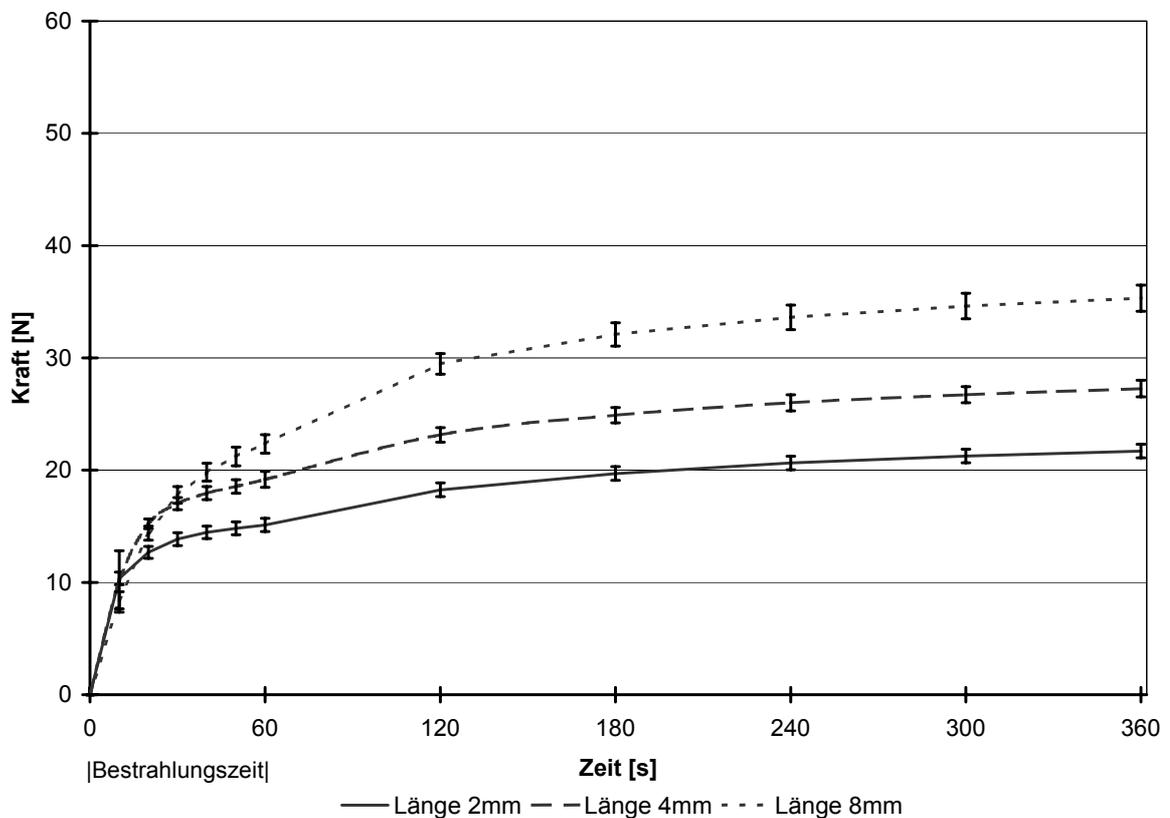


Abb. 4-5: Schrumpfungskräfte von Charisma (Farbe A20; Firma Kulzer) Ch2, Ch4 und Ch8

Charisma F (ChF 2,4,8)

Der Kurvenverlauf von Charisma F (Fa. Kulzer, Abb. 4-6) entspricht dem der anderen Materialien. Die Zugkraft von Charisma F liegt zwischen dem Charisma (Abb. 4-5) und Durafill (Abb. 4-7). Die Standardabweichung sowie der Variationskoeffizient mit Werten zwischen 3,5 und 4,2 % liegen im unteren Bereich. Die relative Kraftzunahme zwischen den 2 und 4 mm bzw. 4 und 8 mm langen Proben liegt mit 20 % bzw. 29 % am niedrigsten.

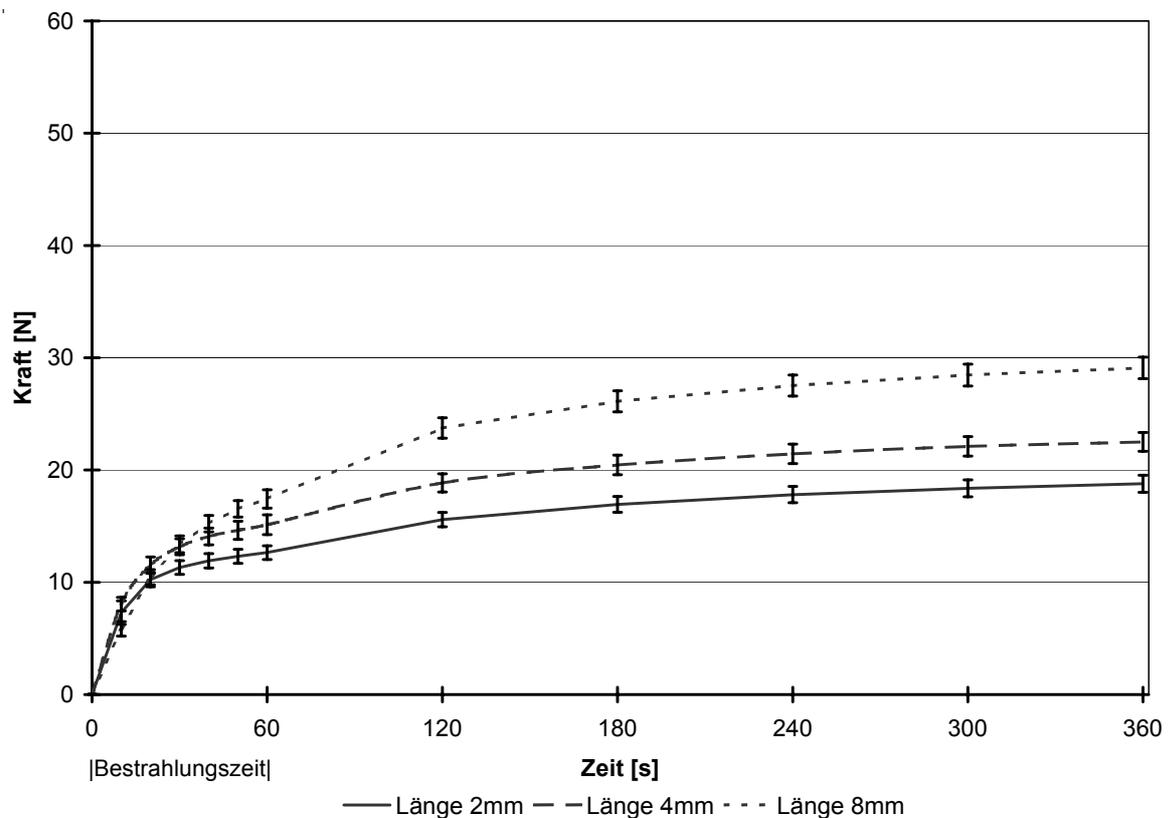


Abb. 4-6: Schrumpfungskräfte von Charisma F (Farbe A20; Firma Kulzer) ChF2, ChF4 und ChF8

Durafill (Du 2,4,8)

Der Kurvenverlauf von Durafill (Fa. Kulzer, Abb. 4-7) entspricht dem der anderen Materialien, zwischen 60 und 120 Sekunden ist aber eine starke Kraftzunahme sichtbar. Die Zugkraft von Durafill liegt zwischen der von Charisma F (Abb. 4-6) und Visio-Molar (Abb. 4-4). Die Standardabweichung und der Variationskoeffizient mit Werten zwischen 1,4 und 3,2 % liegen im Vergleich zu den anderen Materialien am niedrigsten.

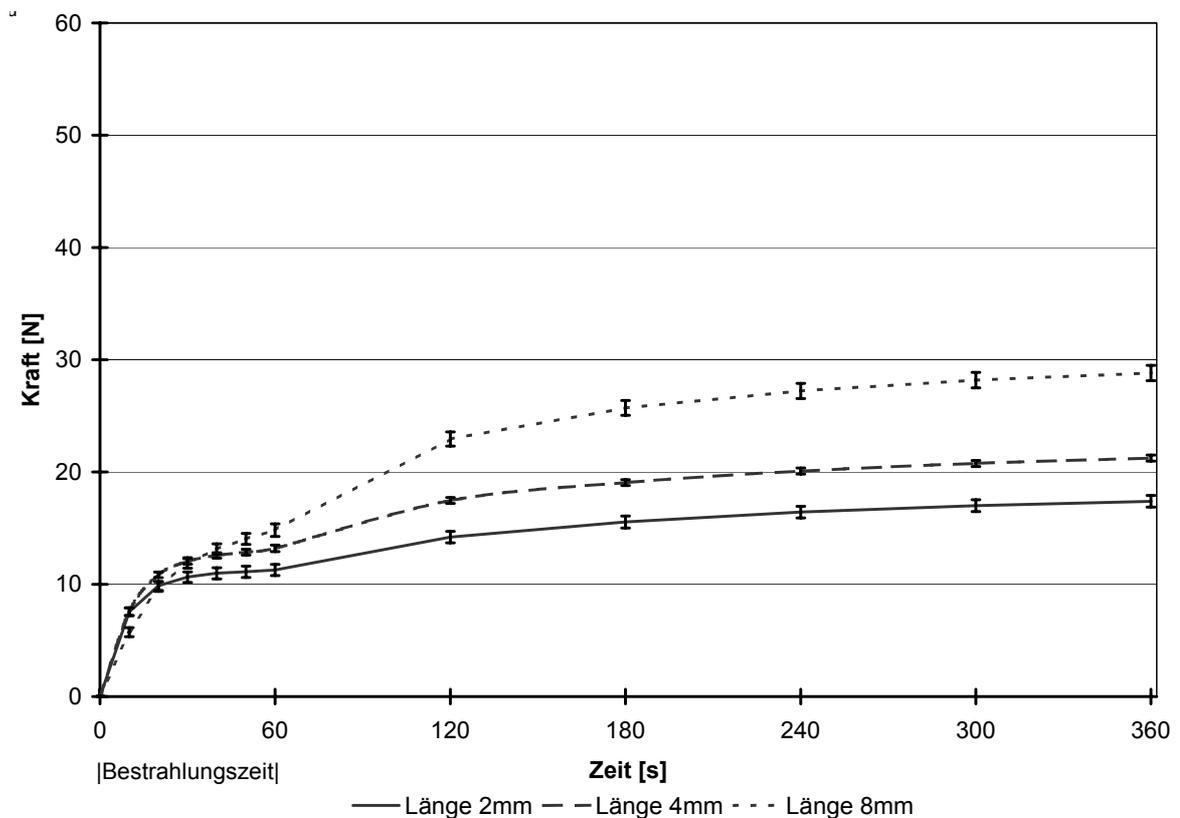


Abb. 4-7: Schrumpfkraften von Durafill VS (Farbe A20; Firma Kulzer) Du2, Du4 und Du8

4.2.2 Unterschiede zwischen den Materialien

Beurteilung der Proben bezogen auf die Probenlänge

Die Mittelwerte der drei Probenlängen mit jeweils sieben verschiedenen Materialien sind hoch signifikant unterschiedlich (Tabelle 4-1). Kein signifikanter Unterschied liegt zwischen den Proben Dy2/VM2 und Dy4/VM4 vor.

In den folgenden drei Abbildungen (Abb. 4-8 bis Abb. 4-10) sind die Messergebnisse der gleichen Probenlängen bei den verschiedenen Materialien abgebildet. Die höchste Zugkraft bewirkt Visio-Dispers, am niedrigsten liegt die Zugkraft bei Dyract. Die nach Messende erreichte Zugkraft nimmt bei jeder Probenlänge in der Reihenfolge von Dyract, Visio-Molar, Durafill, Charisma F, Charisma, Spectrum nach Visio-Dispers zu (Mittelwerte der Tabelle 4-1). Die maximale Zugkraft von Visio-Dispers ist im Vergleich zu Dyract sowie Visio-Molar mehr als doppelt so hoch.

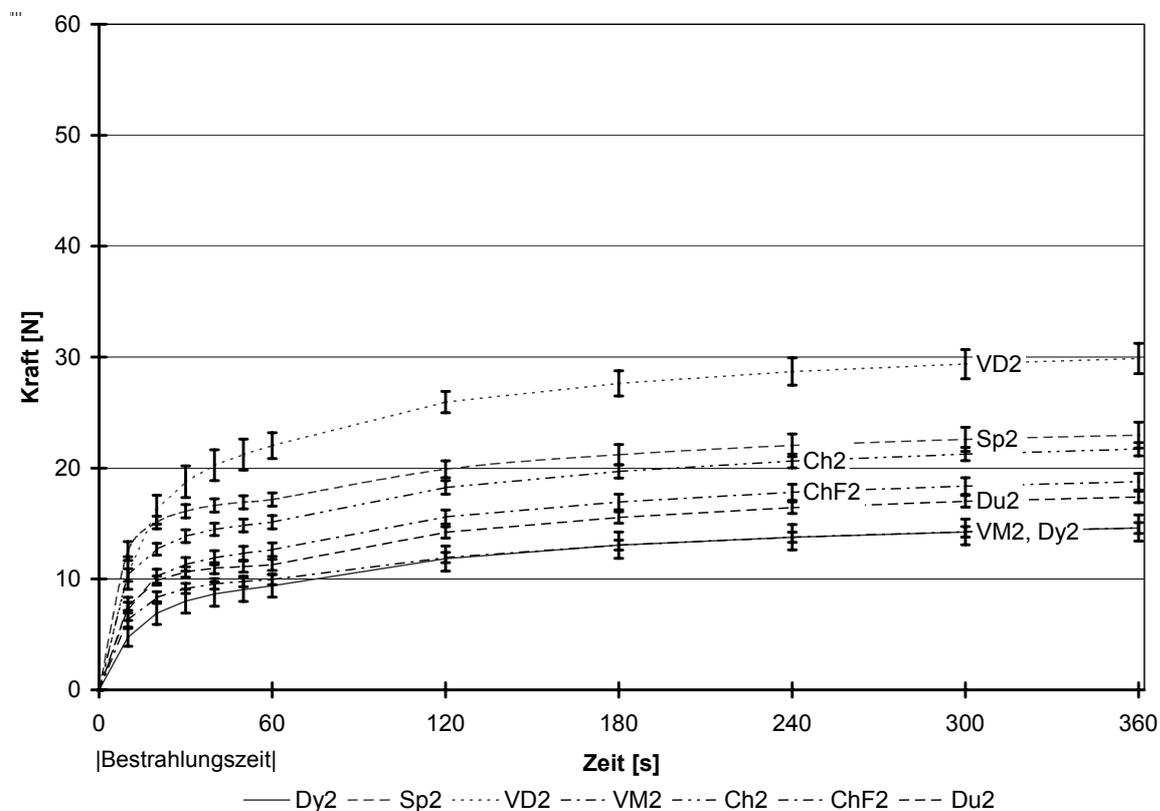


Abb. 4-8: Schrumpfungskräfte bei einer Probenlänge von 2 mm

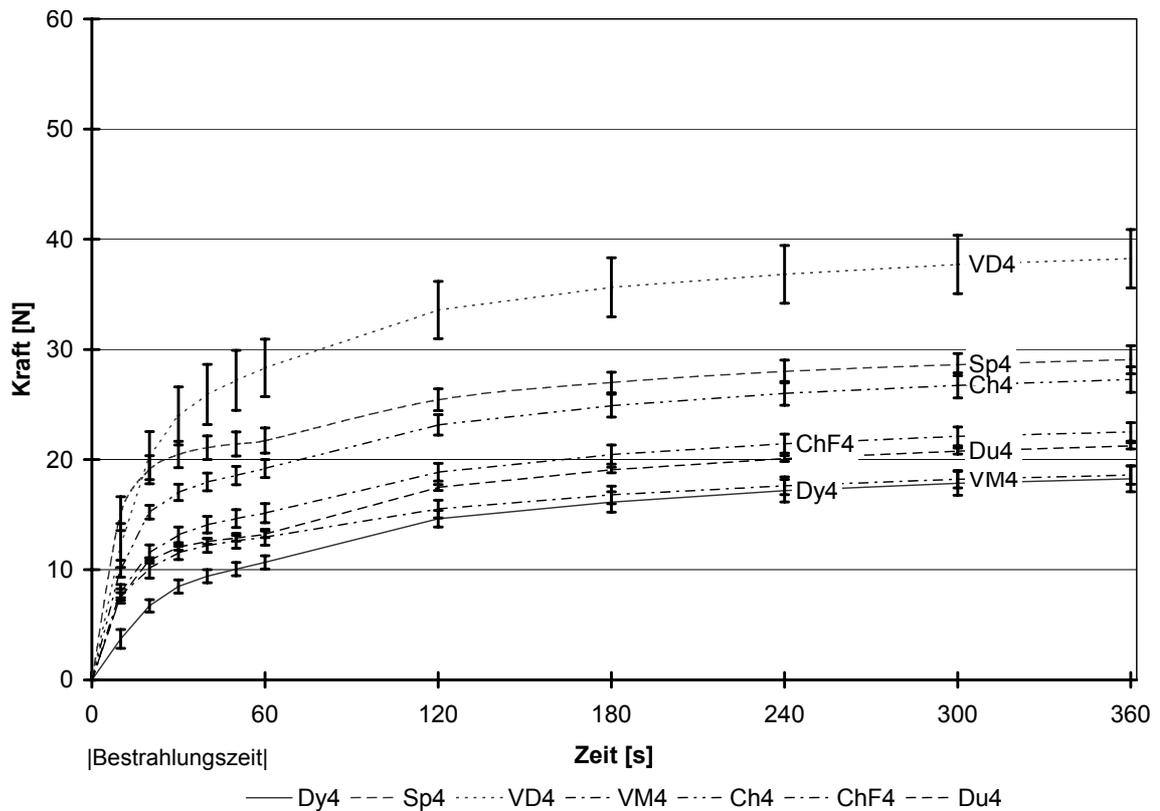


Abb. 4-9: Schrumpfungskräfte bei einer Probenlänge von 4 mm

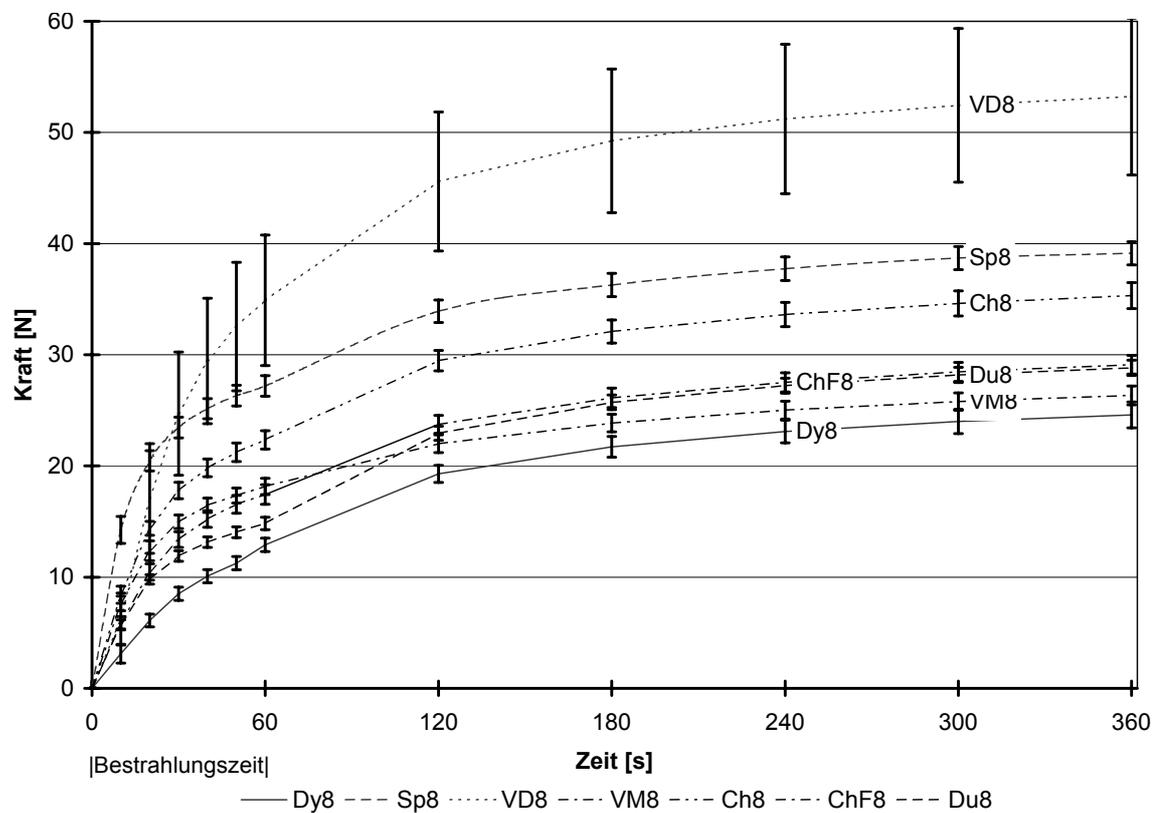


Abb. 4-10: Schrumpfungskräfte bei einer Probenlänge von 8 mm

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Kraftanstieg der 4 und 8 mm langen Proben gegenüber dem Mittelwert aller 2 mm langen Proben.

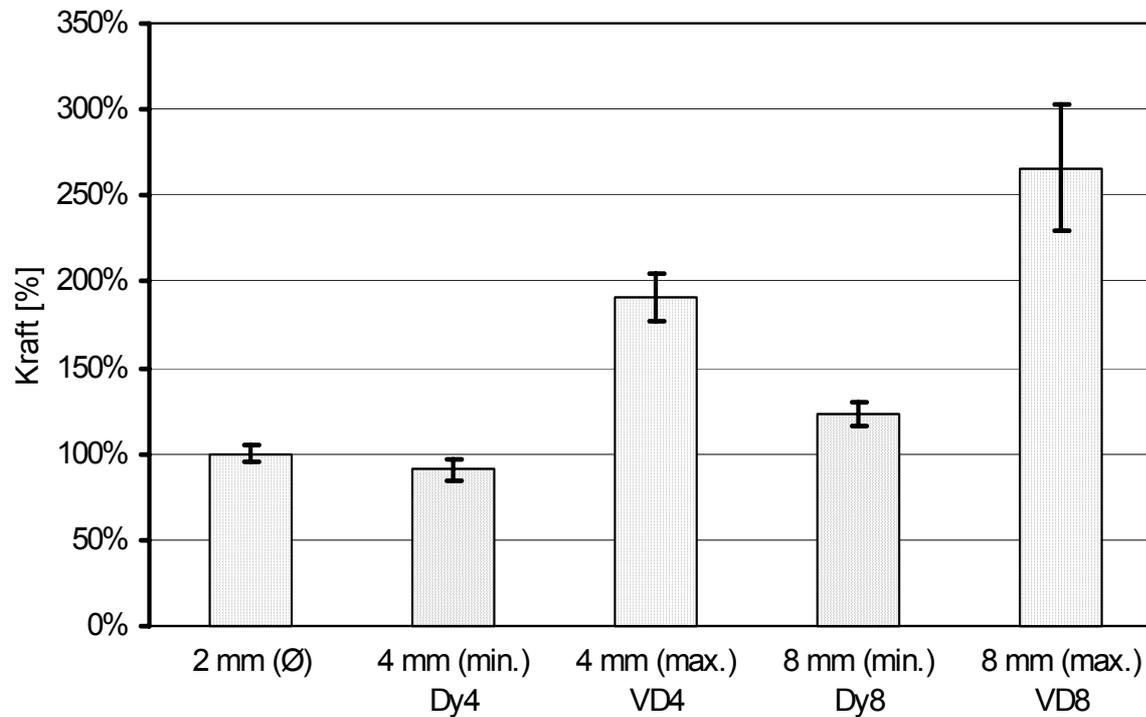


Abb.. 4-11: Schrumpfungskräfte aller Probenlängen

4.3 Ergebnisse der Konsistenzprüfung

Material :	Dyract HF	Spectrum TPH	Visio-Dispers	Viso-Molar	Charisma	Charisma F	Durafill VS
Konsistenz :	2	1	7	5	3,5	3,5	6

Tabelle 4-3: Ergebnisse Konsistenz (1 = weich, 7 = steif)