

5 Ergebnisse

5.1 Bruchlastmessung

Insgesamt wurden 59 Proben LAVA[®] Zirkonoxidkeramikbrückengerüste (3M ESPE) auf der Material-Prüfmaschine Zwick[®] Z010/TN2A (Firma Roell) Bruchlastversuchen unterzogen.

Bei einer Probe aus der 6. Serie (R m.Th.) kam es nach erfolgtem Thermocycling zu einer Abspaltung des Käppchens am Molaren, so dass keine Bruchlastuntersuchung mehr durchgeführt werden konnte.

Abbildung 9 zeigt eine typische Serie der Diagramme, die für jeden Versuch Grundlage der Auswertung waren.

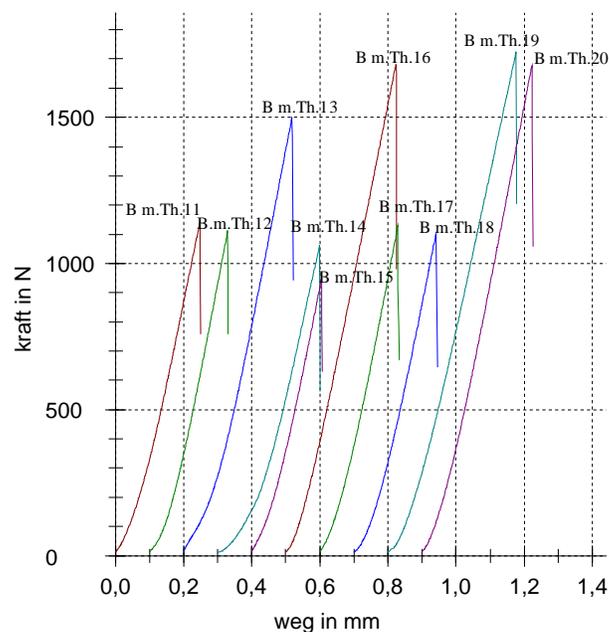


Abbildung 9: Typischer Ausdruck der Weg-Kraftdiagramme am Beispiel der 4.Serie (B m.Th.)

Deutlich zu erkennen ist der immer gleichartig verlaufende Kraftanstieg in der Belastungsphase und der schnelle Kraftabfall nach Fraktur des Brückengerüsts. Die Werte für die maximale Kraft wurden zusätzlich durch das Prüfprogramm angezeigt.

Aus den 59 untersuchten Brücken ergaben sich die aus den Tabellen 5.1.-5.6 ersichtlichen Rohdaten.

Tabelle 1: Messergebnisse der 1. Serie vollkeramischer Brückengerüste mit Zementierung auf Keramikstümpfen (C) nach Wasserlagerung

Probennummer	Bruchlast [N] ohne Thermocycling
C o.Th. 1	1164,3
C o.Th. 2	1296,7
C o.Th. 3	1284,8
C o.Th. 4	1356,6
C o.Th. 5	1815,8
C o.Th. 6	1317,4
C o.Th. 7	1282,5
C o.Th. 8	1237
C o.Th. 9	1372,3
C o.Th. 10	1093
Mittelwert	1322
Standardabweichung	183

Tabelle 2: Messergebnisse der 2. Serie vollkeramischer Brückengerüste mit Zementierung auf Keramikstümpfen (C) nach Wasserlagerung und künstlicher Alterung durch Thermocycling

Probennummer	Bruchlast [N] mit Thermocycling
C m.Th. 1	1260,7
C m.Th. 2	1276,9
C m.Th. 3	1246,9
C m.Th. 4	1265,1
C m.Th. 5	1212,8
C m.Th. 6	1646,3
C m.Th. 7	1437,2
C m.Th. 8	1484
C m.Th. 9	1289,3
C m.Th. 10	1290,9
Mittelwert	1341
Standardabweichung	130

Tabelle 3: Messergebnisse der 3. Serie vollkeramischer Brückengerüste mit Zementierung auf Metallstümpfen (B) nach Wasserlagerung

Probennummer	Bruchlast [N] ohne Thermocycling
B o.Th. 11	1139,8
B o.Th. 12	1113,1
B o.Th. 13	1499,4
B o.Th. 14	1062,4
B o.Th. 15	944,8
B o.Th. 16	1681,3
B o.Th. 17	1131,2
B o.Th. 18	1100,7
B o.Th. 19	1724,8
B o.Th. 20	1678,1
Mittelwert	1308
Standardabweichung	286

Tabelle 4: Messergebnisse der 4. Serie vollkeramischer Brückengerüste mit Zementierung auf Metallstümpfen (B) nach Wasserlagerung und künstlicher Alterung durch Thermocycling

Probennummer	Bruchlast [N] mit Thermocycling
B m.Th. 11	1416,8
B m.Th. 12	1288,7
B m.Th. 13	1231,1
B m.Th. 14	1468,5
B m.Th. 15	1441,7
B m.Th. 16	1339,9
B m.Th. 17	1237
B m.Th. 18	1485,7
B m.Th. 19	1606,8
B m.Th. 20	1434,6
Mittelwert	1395
Standardabweichung	114

Tabelle 5: Messergebnisse der 5. Serie vollkeramischer Brückengerüste mit Zementierung auf Kunststoffstümpfen (R) nach Wasserlagerung

Probennummer	Bruchlast [N] ohne Thermocycling
R o.Th. 21	762,5
R o.Th. 22	837
R o.Th. 23	1053,1
R o.Th. 24	757,2
R o.Th. 25	973,7
R o.Th. 26	913,1
R o.Th. 27	1141,3
R o.Th. 28	1023,9
R o.Th. 29	883,5
R o.Th. 30	821,3
Mittelwert	917
Standardabweichung	122

Tabelle 6: Messergebnisse der 6. Serie vollkeramischer Brückengerüste mit Zementierung auf Kunststoffstümpfen (R) nach Wasserlagerung und künstlicher Alterung durch Thermocycling

Probennummer	Bruchlast [N] mit Thermocycling
R m.Th. 21	912,4
R m.Th. 22	737,6
R m.Th. 23	885,1
R m.Th. 24	869,6
R m.Th. 25	XXX
R m.Th. 26	680,5
R m.Th. 27	940,8
R m.Th. 28	760,5
R m.Th. 29	665,5
R m.Th. 30	850
Mittelwert	811
Standardabweichung	96

5.1.1 Gegenüberstellung der Bruchlastwerte vor und nach Thermocycling innerhalb der drei Hauptgruppen

Die 1. Serie (C o.Th.) erreichte einen Mittelwert von 1322 N (Standardabweichung 183 N), die 2. Serie (C m.Th.) 1341 N (Standardabweichung 130 N).

Ein Vergleich vor und nach Thermocycling ergab keinen signifikanten Unterschied ($p=0,80$).

Für die 3. Serie (B o.Th.) ergab sich ein Mittelwert von 1308°N (Standardabweichung 301°N), für die 4. Serie (B m.Th.) 1395 N (Standardabweichung 114 N).

Auch hier zeigte sich innerhalb dieser Hauptgruppe kein signifikanter Unterschied der Bruchlastwerte vor und nach Thermocycling ($p=0,40$).

Bei der 5. Serie (R o.Th.) betrug der Mittelwert 917°N (Standardabweichung von 122°N), bei der 6. Serie (R m.Th.) 811 N (Standardabweichung 96 N).

In dieser Hauptgruppe wurde eine abnehmende Tendenz der Bruchlastwerte sichtbar zwischen den auf Kunststoff zementierten Brückengerüsten ohne Thermocycling gegenüber den Brücken mit Thermocycling, welche aber nicht signifikant war ($p=0,06$).

5.1.2 Vergleich zwischen der 2. Serie (C m.Th.) und der 4. Serie (B m.Th.) vollkeramischer Brückengerüste

In der 2. Serie (C m.Th.) ergab sich nach Thermocycling ein Mittelwert von 1341 Newton (N) für zehn Brückengerüste. Die Standardabweichung ergab 137 N, (bei einem Standardfehler des Mittelwertes von 43 N).

Bei der 4. Serie (B m.Th.) der Brücken, die auf Metallstümpfen zementiert waren, betrug nach Thermocycling der Mittelwert 1395 N für zehn Proben, die Standardabweichung lag bei 102 N.

Im Vergleich zeigten sich zwischen der 2. und 4. Serie keine Signifikanzen ($p=0,36$).

Tabelle 7: Vergleich zwischen der 2. Serie (C m.Th.) und der 4. Serie (B m.Th.) nach künstlicher Alterung durch Thermocycling

Stumpfmateriale	Probenanzahl	Mittelwert	Standardabweichung
Keramikstumpf	10	1341	137
Metallstumpf	10	1395	119

5.1.3 Vergleich zwischen der 2. Serie (C m.Th.) und der 6. Serie (R m.Th.) vollkeramischer Brückengerüste

Neben den bereits unter 5.1.2. angeführten Werten für die 2. Serie (B m.Th.), ergab sich für die 6. Serie (R m.Th.) ein Mittelwert von 811 N. Die Standardabweichung betrug 102 N.

Zwischen der 2. und der 6. Serie zeigte sich ein hochsignifikanter Unterschied ($p < 0,01$).

Tabelle 8: Vergleich zwischen der 2. Serie (C m.Th.) und der 6. Serie (R m.Th.) nach künstlicher Alterung durch Thermocycling

Stumpfmateriale	Probenanzahl	Mittelwert	Standardabweichung
Keramikstumpf	10	1341	137
Kunststoffstumpf	9	811	102

5.1.4 Vergleich zwischen der 4. Serie (B m.Th.) und der 6. Serie (R m.Th.) vollkeramischer Brückengerüste

Für die unter 5.1.2. und 5.1.3. zu entnehmenden Werte für die 4. und 6. Serie der vollkeramischen Brückengerüste, wurde ein hochsignifikanter Unterschied deutlich ($p < 0,01$).

Tabelle 9: Vergleich zwischen der 4. Serie (B m.Th.) und der 6. Serie (R m.Th.) mit künstlicher Alterung durch Thermocycling

Stumpfmaterial	Probenanzahl	Mittelwert	Standardabweichung
Kunststoffstumpf	9	811	102
Metallstumpf	10	1395	120

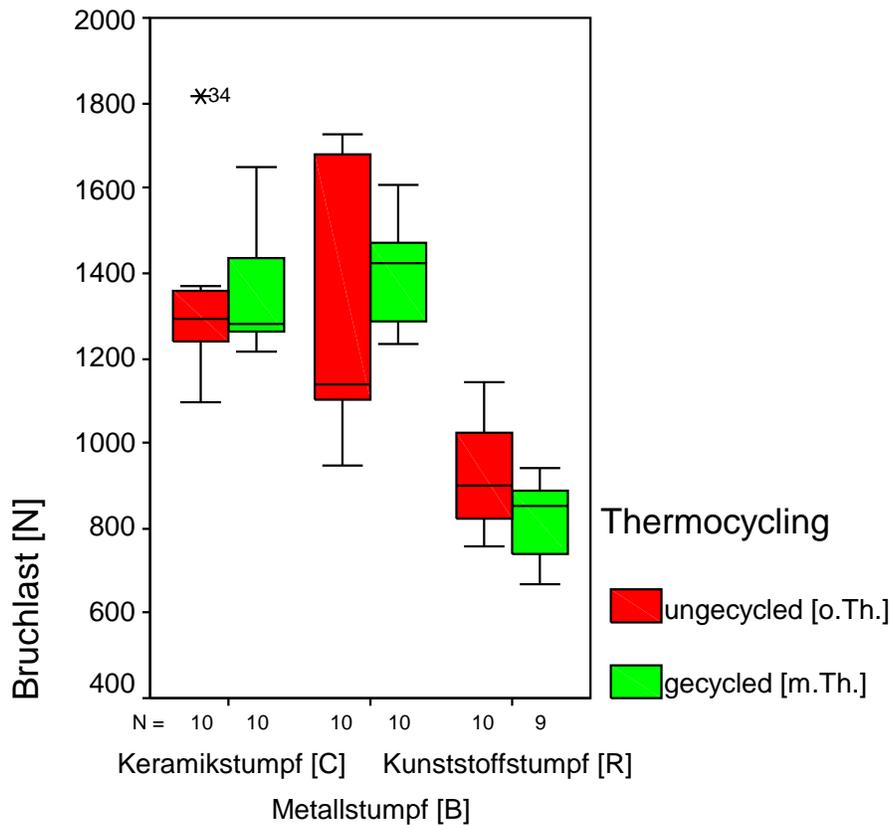


Abbildung 10: Graphische Darstellung der Bruchlastwerte aller Serien vollkeramischer Brückengerüste mit und ohne künstliche Alterung.

Abschließend ist hervorzuheben, dass in der 5. Serie (R o.Th.) deutlich niedrigere Bruchlastwerte gemessen wurden, welche in der 6. Serie (R m.Th.) nach der künstlichen Alterung durch Thermocycling noch abnehmende Tendenz zeigten.

5.2 Frakturverläufe und Bruchmechanismen

5.2.1 Die 1. Serie (C o.Th.) vollkeramischer Brückengerüste nach Wasserlagerung / ohne künstliche Alterung durch Thermocycling

Bei allen Brückengerüsten der 1. Serie (C o.Th.) zeigte sich ein nahezu identischer Frakturverlauf, der sich basal vom Konnektor Regio 15/16 approximal schräg Richtung okklusal-bukkal des zweiten Zwischengliedes durchzog.

Drei Brückengerüste wiesen zusätzlich kleine Abplatzungen in mesio-okklusaler Region des Zahnes 16 auf.

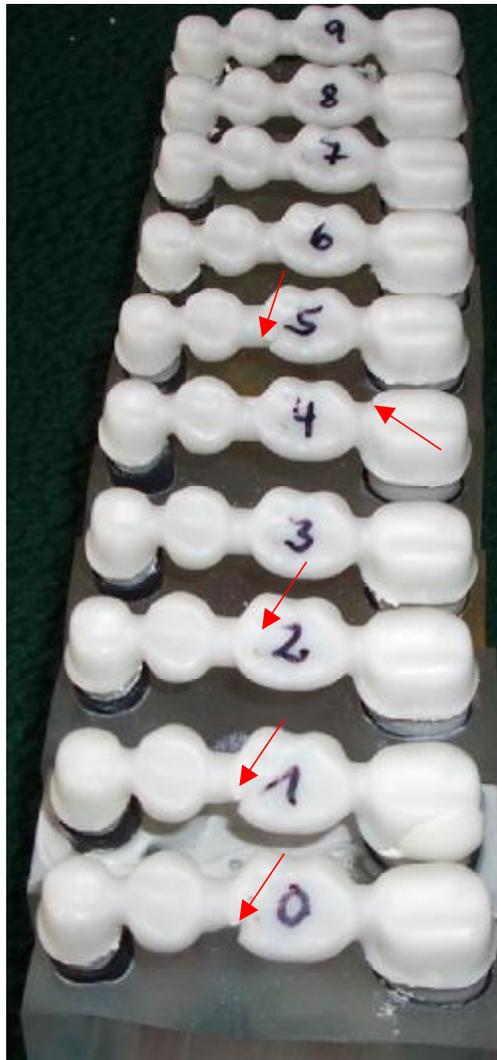


Abbildung 11: Die 1. Serie (C o.Th.) aller Brückengerüste ohne Thermocycling nach dem Bruchversuch

5.2.2 Die 3. Serie (B o.Th.) vollkeramischer Brückengerüste nach Wasserlagerung/ ohne künstliche Alterung durch Thermocycling

Bei sieben der hier untersuchten Brückengerüste traten Frakturen in der gleichen Region auf wie dies bereits bei der 1. Serie (C o.Th.) zu beobachten war, wobei die Frakturlinie in der 3. Serie (B o.Th.) nicht so eindeutig als Bruchspalt zu erkennen war, wie in der 1. Serie (C o.Th.). Zwei Gerüste zeigten eine zweite Fraktur im Bereich des Konnektors Regio 16/17, die sich bukkal ausgehend vom Konnektor schräg in Richtung palatinal des Molarenkappchens an 17 zog. Darüber hinaus kam es bei einer dieser beiden Brückengerüste (B o.Th. 18) zu einer deutlichen okklusalen Aussprengung am Zwischenglied 16



Abbildung 12: Doppelfraktur mit zusätzlicher okklusaler Aussprengung an der Probe B o.Th. 18 aus der 3.Serie (B o.Th.)



Abbildung 13: Die 3. Serie (B o.Th.) aller Brückengerüste ohne Thermocycling nach dem Bruchversuch

5.2.3 Die 5. Serie (R o.Th.) vollkeramischer Brückengerüste nach Wasserlagerung/ ohne künstliche Alterung durch Thermocycling

Hier zeigten sich keine Auffälligkeiten oder Unterschiede innerhalb der zehn vollkeramischen Brückengerüste dieser Serie.

Bei allen Brückengerüsten fand der gleiche Bruchmechanismus statt, so dass eine Frakturlinie genau (senkrecht) entlang der Insertionsstelle des Konnektors Regio 15/16 am Zwischenglied 16 zu sehen war.



Abbildung 14: Typischer Frakturlinienverlauf für die 5. Serie (R o.Th.) ohne Thermocycling nach dem Bruchversuch

5.2.4 Die 2. Serie (C m.Th.) vollkeramischer Brückengerüste nach Wasserlagerung und künstlicher Alterung durch Thermocycling

Bei fünf Brückengerüsten aus der 2. Serie (C m.Th.) kam es zu einer kompletten Heraussprengung des Zwischengliedes 16, wobei ein Gerüst das gleiche Bruchmuster ohne Heraussprengung sondern mit auffälliger Luxation in diesem Bereich zeigte. Dabei verlief eine Fraktur direkt am Molarenkappchen des Zahnes 17, die zweite Fraktur erfolgte schräg im mesialen Bereich innerhalb des Zwischengliedes 16. Der Konnektor 16/17 blieb unversehrt.

Bei einem Brückengerüst erfolgte neben dem bereits sechsmal ersichtlichen Bruch im Bereich des mesialen Anteils von 16 eine zusätzliche Fraktur ausgehend vom Konnektor 16/17 schräg Richtung disto-palatinal des Molarenkappchens an 17.

Lediglich drei Gerüste wiesen eine einzelne, nahezu identische Frakturlinie im mesialen Bereich des Zwischengliedes 16 auf, welche transversal verlief.



Abbildung 15: Typische Aussprengung des Zwischengliedes 16 bei der Hälfte aller Brückengerüste der 2. Serie (C m.Th.) nach Thermocycling

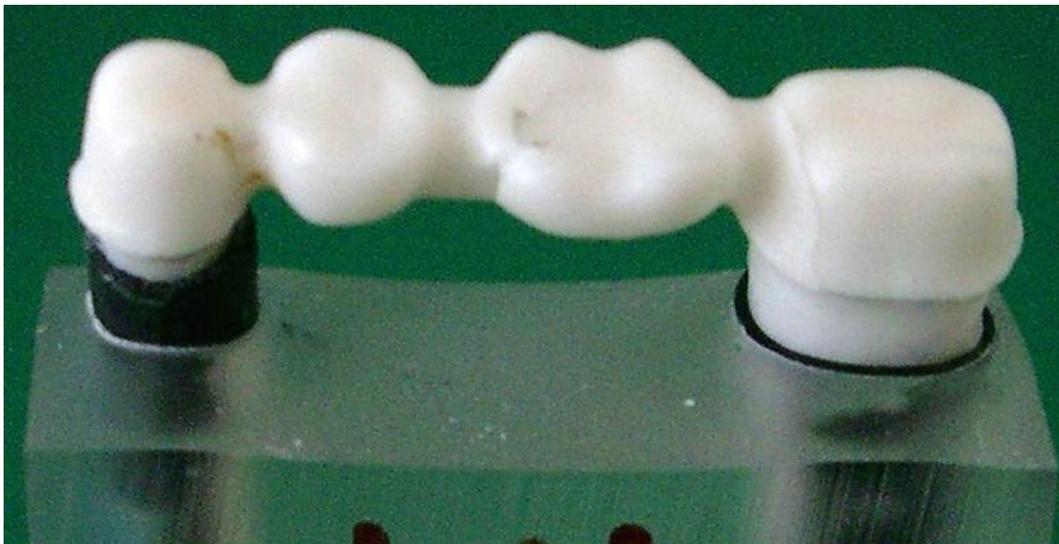


Abbildung 16: Vollkeramisches Brückengerüst aus der 2. Serie (C m.Th.) nach Thermocycling mit zweifacher Faktur ohne Aussprengung.



Abbildung 17: Die 2. Serie (C m.Th.) aller Brückengerüste mit künstlicher Alterung durch Thermocycling nach erfolgtem Bruchversuch

5.2.5 Die 4. Serie (B m.Th.) vollkeramischer Brückengerüste nach Wasserlagerung und künstlicher Alterung durch Thermocycling

In dieser Gruppe wiesen alle Brückengerüste nach erfolgter Bruchlastmessung eine einzelne Frakturlinie auf, welche zentral vom Kraftinsertionspunkt an 16 okklusal ausgehend in transversaler Richtung verlief. Dabei lief diese Linie in Richtung medio-bukkal, sowie schräg in Richtung mesio-palatinal.

Zwei Brücken zeigten einen Frakturlinienverlauf mesio-palatinal bis zum Konnektor 16/17. Bei einer Brücke (B m.Th. 15) kam es zur Dezementierung des Molarenkappchens an 17.

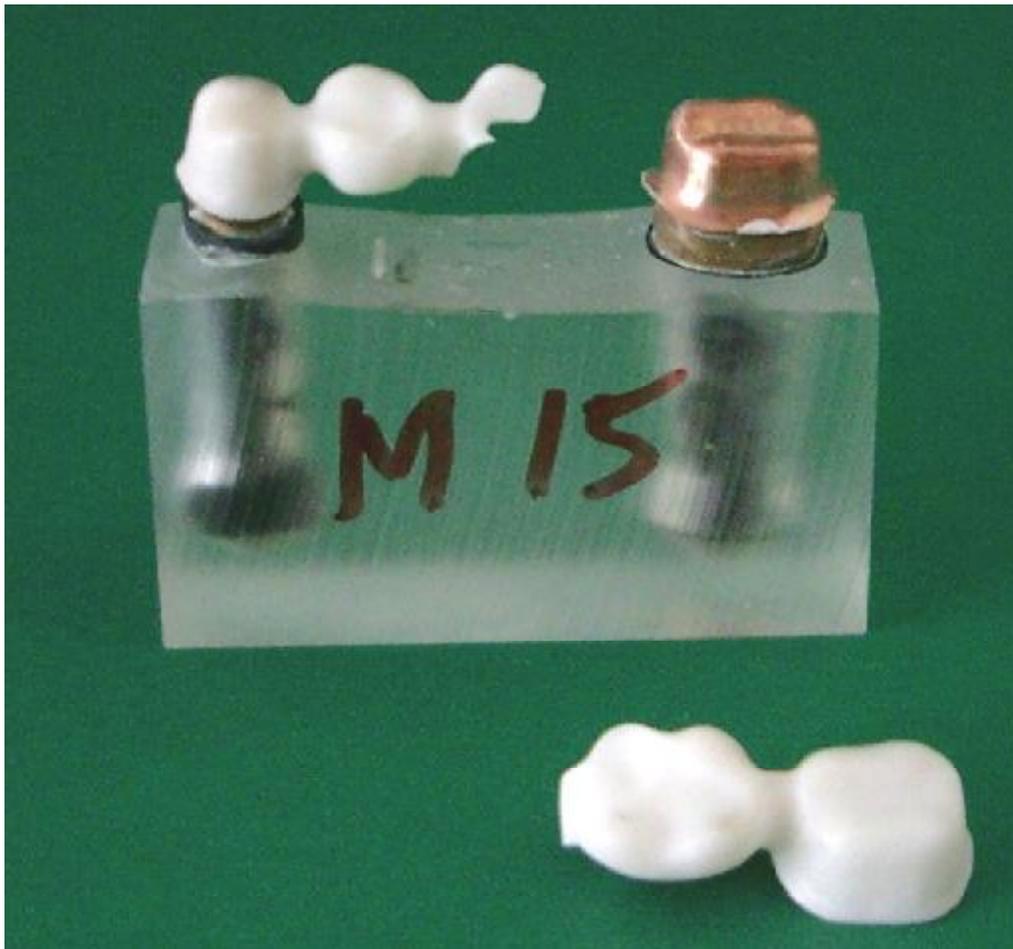


Abbildung 18: Brückengerüst (B m.Th. 15) aus der 4. Serie (B m.Th.) nach Thermocycling mit Dezementierung des Molarenkappchens nach erfolgtem Bruchlastversuch

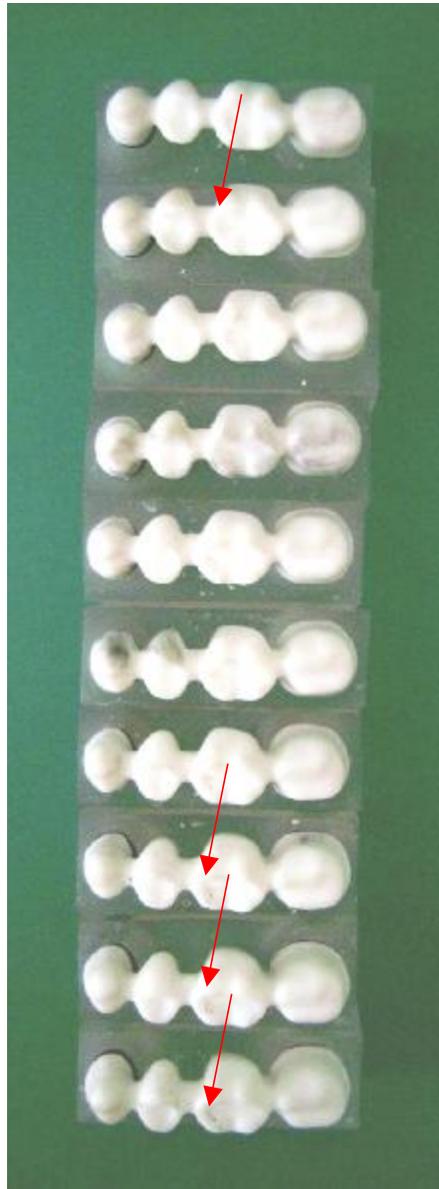


Abbildung 19: Die 4. Serie (B m.Th.) aller Brückengerüste mit künstlicher Alterung durch Thermocycling nach erfolgtem Bruchlastversuch.

5.2.6 Die 6. Serie (R m.Th.) vollkeramischer Brückengerüste nach Wasserlagerung und künstlicher Alterung durch Thermocycling

Acht Brückengerüste wiesen einen einzelnen Frakturlinienverlauf auf, wobei dieser bei der Hälfte davon im Bereich des Konnektors Regio 15/16 sichtbar wurde.

Bei zwei Gerüsten trat er in okklusale-distale Richtung von 16, bei weiteren zwei am Molarenkappchen an 17 auf.

Zwei Brücken zeigten einen weiteren Bruchmechanismus, der sich zusätzlich im Bereich des Molarenkappchens 17 darstellte und schräg von mesio-bukkal nach medio-palatinal verlief. Dabei kam es bei einer dieser beiden Brückengerüste zu einer kompletten Aussprengung des Zwischengliedes 16.

Zusätzlich waren bei drei Brücken der gesamten Gruppe noch kleinere Abplatzungen im distalen und okklusalen Bereich des Molarenkappchens 17 zu beobachten.

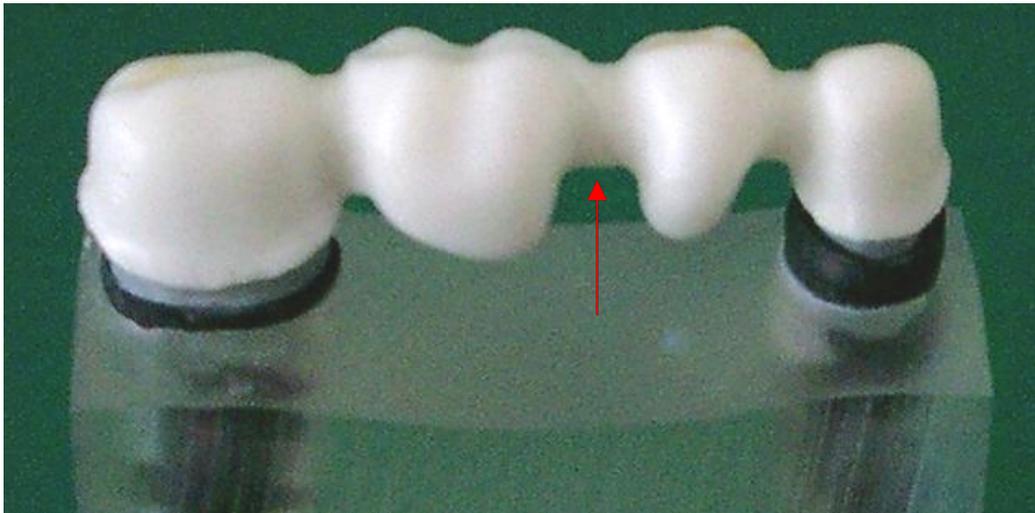


Abbildung 20: Einzelne Fraktur eines Brückengerüsts am Konnektor 15/16 aus der 6. Serie (R m.Th.) mit künstlicher Alterung durch Thermocycling nach erfolgtem Bruchlastversuch.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zwischen den Serien spannungsbedingte unterschiedliche Bruchmechanismen zu erkennen waren, die auf die verschiedenen Stumpfmaterialien zurückgeführt werden können.