

5. Ergebnisse

5.1 Quantitative Auswertung des Hauptversuches

5.1.1 Auswertung des Mineralverlustes

Alle *in vitro* demineralisierten Schmelzproben ($n = 217$) zeigten oberflächliche Läsionen, die verglichen mit dem Mineralgehalt des Läsionskörpers durch erhöhte Mineralisationen der obersten Schicht gekennzeichnet waren. Die demineralisierten Kontrollbereiche zeigten für min.d des ersten Versuchsteils den Mittelwert (SD) von $2138 \text{ Vol.\%} \times \mu\text{m}$ ($895 \text{ Vol.\%} \times \mu\text{m}$). Für den zweiten Versuchsteil betragen die Werte 3639 (839) $\text{Vol.\%} \times \mu\text{m}$. Die Mittelwerte der Mineralverluste nach Demineralisation der verschiedenen Untergruppen waren innerhalb beider Versuchsteile vergleichbar ($p > 0,05$; ANOVA).

Die folgende Tabelle 10 zeigt die mittleren Mineralverluste mit den dazugehörigen Standardabweichungen der einzelnen Versuchsgruppen vor (min.d) und nach Lagerung (min.e) der demineralisierten Schmelzproben in den verschiedenen Lösungen. Die Anzahl der zusammengefassten Einzelmessungen bei jeder Gruppe liegt bei 10. Das Ausmaß der Demineralisation und der verringerten effektiven Mineralverluste (ΔMin) ist dargestellt, wobei das negative Vorzeichen auf eine weitere Demineralisation der Schmelzprobe hindeutet und das positive Vorzeichen auf eine Remineralisation schliessen lässt.

Bei Betrachtung des effektiven Mineralverlustes (ΔMin) der Schmelzproben (Tab. 10) zeigt die Gruppe 18 als einzige eine signifikant unterschiedliche Remineralisation (* = $p < 0,05$; t-Test). Hingegen zeigte die Negativkontrolle (Gruppe 3) sowie die vier Lösungen mit der niedrigsten Sättigung bei pH 5,5 (5, 7, 9, 11) eine signifikant starke Demineralisation (* = $p < 0,05$; t-Test).

Tab. 10: Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) der Mineralverluste (Vol.% × µm) nach der Demineralisation und Lagerung in den verschiedenen Lösungen.

| Nr. | Mineralverlust (min.d) | | Mineralverlust (min.e) | | Mineralverlust effektiv (ΔMin) | | Signifikanz |
|-----|------------------------|--------|------------------------|--------|--------------------------------|-----|--------------|
| | MW | SD | MW | SD | MW | SD | |
| 1 | 1795,9 | 1406,7 | 1720,5 | 1222,8 | 75 | 693 | 0,739 (n.s.) |
| 2 | 2044,4 | 286,6 | 2393,6 | 478,6 | -349 | 523 | 0,064 (n.s.) |
| 3 | 2066,1 | 1010,1 | 2725,1 | 1057,8 | -659 | 628 | 0,009 (*) |
| 4 | 2614,4 | 1142,0 | 3031,3 | 1549,5 | -417 | 804 | 0,135 (n.s.) |
| 5 | 2140,4 | 962,4 | 2595,5 | 805,7 | -455 | 502 | 0,019 (*) |
| 6 | 1828,5 | 393,0 | 1998,9 | 386,4 | -170 | 272 | 0,079 (n.s.) |
| 7 | 1616,5 | 477,5 | 1826,4 | 516,0 | -210 | 172 | 0,004 (**) |
| 8 | 1704,7 | 292,1 | 1918,5 | 420,2 | -214 | 360 | 0,093 (n.s.) |
| 9 | 2506,6 | 1058,0 | 2953,8 | 1152,9 | -447 | 461 | 0,013 (*) |
| 10 | 2515,0 | 948,3 | 2822,6 | 1210,2 | -308 | 791 | 0,250 (n.s.) |
| 11 | 2203,0 | 226,8 | 2605,1 | 484,3 | -402 | 402 | 0,012 (*) |
| 12 | 2349,5 | 1256,2 | 2226,2 | 1142,5 | 123 | 558 | 0,502 (n.s.) |
| 13 | 1980,8 | 1003,8 | 2176,9 | 936,0 | -196 | 303 | 0,071 (n.s.) |
| 14 | 2289,0 | 1054,4 | 2067,4 | 756,7 | 222 | 556 | 0,240 (n.s.) |
| 15 | 2297,2 | 901,1 | 1887,6 | 831,8 | 410 | 580 | 0,053 (n.s.) |
| 16 | 2367,4 | 694,0 | 2244,9 | 684,8 | 123 | 568 | 0,512 (n.s.) |
| 17 | 1717,8 | 700,8 | 1640,6 | 746,4 | 77 | 348 | 0,500 (n.s.) |
| 18 | 2518,3 | 1021,2 | 1993,5 | 802,2 | 525 | 541 | 0,013 (*) |
| 19 | 2067,1 | 750,9 | 1917,0 | 741,8 | 150 | 289 | 0,135 (n.s.) |

Signifikante und hoch signifikante Unterschiede zwischen den Mineralverlusten nach Demineralisation und denen nach Lagerung in den Lösungen sind mit gekennzeichnet (* p < 0,05; t-Test; ** p < 0,005; t-Test).

Nachdem die Proben für zwei Wochen in den 19 unterschiedlichen Lösungen gelagert wurden, konnten effektive Mineralverluste bzw. -gewinne (ΔMin = min.d - min.e; Vol.% × µm) beobachtet werden, die sich zwischen den Gruppen signifikant unterschieden (p < 0,001; ANOVA).

In der folgenden Abbildung 9 wird der effektive Mineralverlust (Vol.% × µm) der Schmelzproben nach Lagerung in den verschiedenen Lösungen mittels box-and-whisker-plots dargestellt. Die Boxplots der Gruppen mit den niedrigsten Sättigungen zeigen einen signifikant geringeren Mineralgehalt als Gruppe 18 mit der höchsten Sättigung.

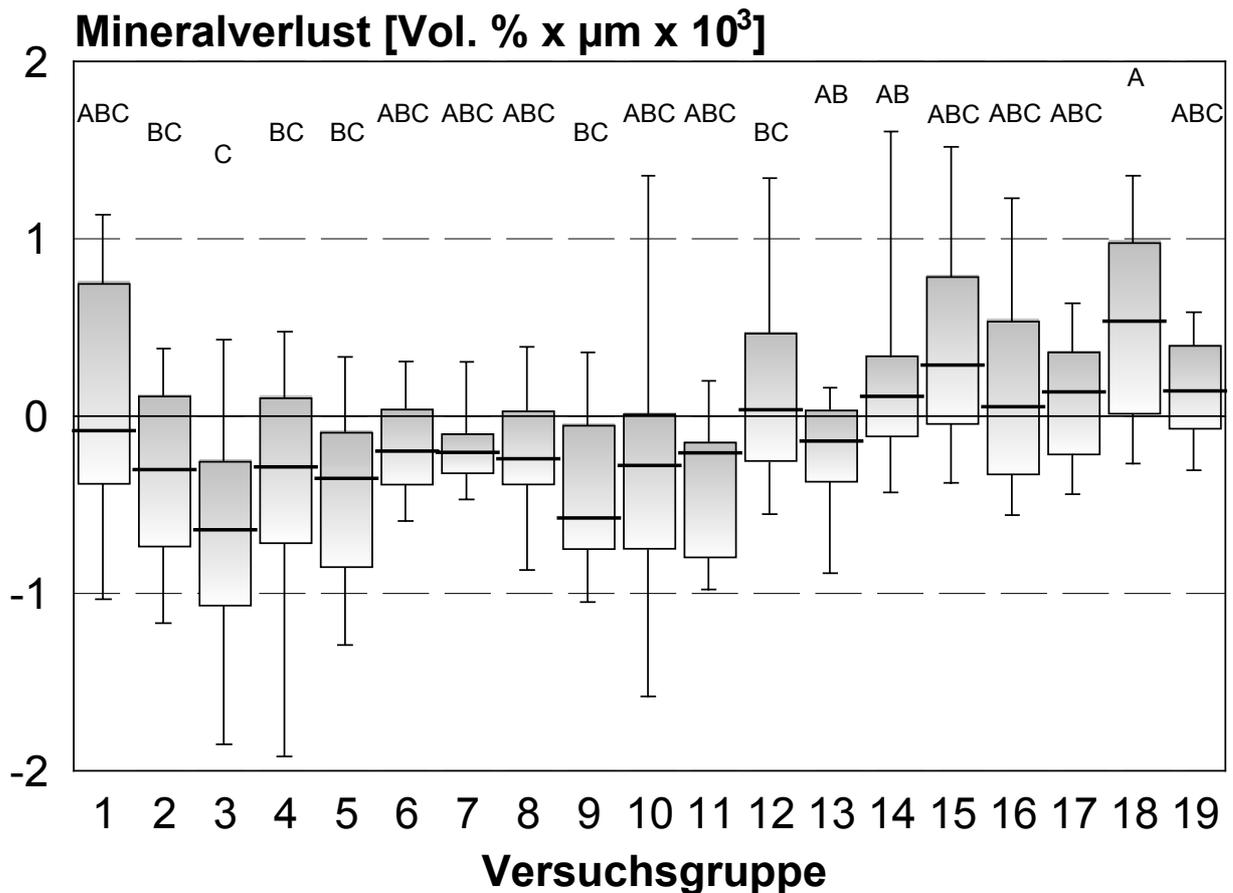


Abb. 9: Die Ergebnisse des Mineralverlustes (Vol.% × μm) nach Lagerung der demineralisierten Schmelzproben (n = 10) in den verschiedenen Lösungen sind mit den jeweiligen Quartilen, Medianen, Minima und Maxima dargestellt (100 % box-and-whisker-plots). Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; BONFERRONI).

5.1.2 Auswertung der Läsionstiefe

Die demineralisierten Kontrollbereiche zeigten für lt.d des ersten Versuchsteils den Mittelwert (SD) von 104 (28) μm . Für den zweiten Versuchsteil betragen die Werte 121 (25) μm .

Die folgende Tabelle 11 zeigt die mittleren Läsionstiefen mit den dazugehörigen Standardabweichungen der einzelnen Versuchsgruppen vor (lt.d) und nach Lagerung (lt.e) der demineralisierten Schmelzproben in den verschiedenen Lösungen. Das Ausmaß der erhöhten (negatives Vorzeichen) und der verringerten (positives Vorzeichen) effektiven Läsionstiefen (ΔLt) ist dargestellt, wobei das negative Vorzeichen auf eine weitere Demineralisation der Schmelzprobe hindeutet und das positive Vorzeichen auf eine Remineralisation schliessen lässt.

Die effektive Läsionstiefe der Schmelzproben in den Lösungen 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 13, 17 und 19 zeigt eine weitere Demineralisation (Tab. 11), wobei sich die Läsionstiefen nur bei den Gruppen 3 und 5 signifikant unterscheiden (* = $p < 0,05$; t-Test).

Tab. 11: Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) der Läsionstiefe (Vol.% × µm) nach der Demineralisation und Lagerung in den verschiedenen Lösungen.

| Nr. | Läsionstiefe (lt.d) | | Läsionstiefe (lt.e) | | Läsionstiefe effektiv (Δ Lt) | | Signifikanz |
|-----|---------------------|------|---------------------|-------|------------------------------|-----|--------------|
| | MW | ±SD | MW | ±SD | MW | ±SD | |
| 1 | 97,9 | 46,9 | 93,0 | 37,8 | 5 | 27 | 0,583 (n.s.) |
| 2 | 100,1 | 16,2 | 103,4 | 16,3 | -3 | 18 | 0,568 (n.s.) |
| 3 | 96,1 | 23,9 | 114,8 | 26,9 | -19 | 19 | 0,013 (*) |
| 4 | 122,5 | 36,6 | 116,8 | 28,8 | 6 | 29 | 0,547 (n.s.) |
| 5 | 104,7 | 31,7 | 115,7 | 25,2 | -11 | 27 | 0,227 (n.s.) |
| 6 | 88,4 | 12,6 | 105,0 | 23,2 | -17 | 22 | 0,039 (*) |
| 7 | 97,7 | 23,1 | 97,5 | 20,9 | 0 | 23 | 0,974 (n.s.) |
| 8 | 91,0 | 15,0 | 169,3 | 204,0 | -11 | 25 | 0,148 (n.s.) |
| 9 | 120,9 | 27,1 | 136,5 | 35,2 | -16 | 30 | 0,130 (n.s.) |
| 10 | 110,6 | 26,9 | 101,9 | 42,0 | 9 | 37 | 0,483 (n.s.) |
| 11 | 112,7 | 15,9 | 121,3 | 23,5 | -9 | 18 | 0,163 (n.s.) |
| 12 | 101,6 | 30,5 | 95,0 | 28,8 | 7 | 21 | 0,340 (n.s.) |
| 13 | 100,6 | 26,7 | 102,6 | 23,9 | -2 | 15 | 0,674 (n.s.) |
| 14 | 96,4 | 29,8 | 93,8 | 16,3 | 3 | 22 | 0,721 (n.s.) |
| 15 | 118,4 | 37,0 | 100,5 | 36,9 | 18 | 26 | 0,060 (n.s.) |
| 16 | 110,8 | 30,4 | 101,9 | 26,3 | 9 | 18 | 0,148 (n.s.) |
| 17 | 93,7 | 31,4 | 99,8 | 37,7 | -6 | 19 | 0,332 (n.s.) |
| 18 | 113,8 | 34,3 | 109,1 | 26,3 | 5 | 25 | 0,568 (n.s.) |
| 19 | 102,4 | 23,6 | 104,4 | 21,3 | -2 | 11 | 0,587 (n.s.) |

Signifikante Unterschiede zwischen den Läsionstiefen nach Demineralisation und denen nach Lagerung in den Lösungen sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$; t-Test).

Nach der zweiwöchigen Lagerung der Proben in den 19 unterschiedlichen Lösungen, konnten effektive Läsionstiefen ($\Delta Lt = It.d - It.e; \mu m$) beobachtet werden, die sich nicht mehr miteinander vergleichen ließen, sondern sich im Mineralverlust höchst signifikant sowie in der Läsionstiefe signifikant unterschieden ($p < 0,001$; ANOVA).

In der folgenden Abbildung 10 wird die effektive Läsionstiefe (μm) der Schmelzproben nach Lagerung in den verschiedenen Lösungen mittels box-and-whisker-plots dargestellt. Die Gruppen, die unterschiedliche Buchstaben tragen, unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$; BONFERRONI).

Die Boxplots in Abbildung 10 zeigen, daß die durchschnittliche Läsionstiefe in der Gruppe 3 am höchsten ist im Gegensatz zu Gruppe 15, bei der eine Verminderung der Läsionstiefe deutlich wird. Bei ΔLt konnten keine Signifikanzen im post-hoc-Test festgestellt werden.

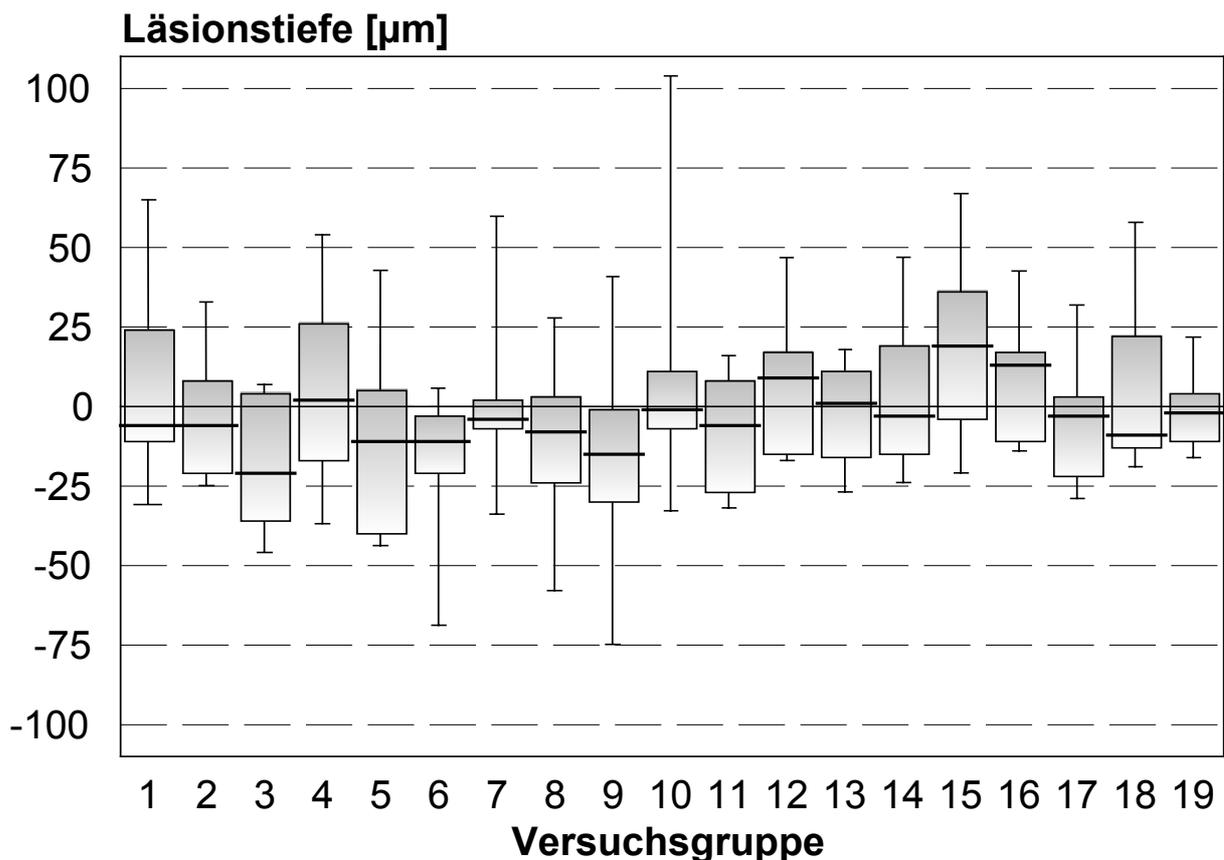


Abb. 10: Die Ergebnisse der Läsionstiefe (μm) nach Lagerung der demineralisierten Schmelzproben ($n = 10$) in den verschiedenen Lösungen sind mit den jeweiligen Quartilen, Medianen, Minima und Maxima dargestellt (100 % box-and-whisker-plots).

5.2 Ergebnisse zum Einfluss unterschiedlicher Faktoren auf den Mineralverlust und die Läsionstiefe im Hauptversuch

Die vier Faktoren Kalzium, Phosphat, Fluorid und der pH-Wert wurden hinsichtlich ihres Einflusses auf die Mineralverluste (ΔMin) sowie die Läsionstiefen (ΔLt) der demineralisierten Schmelzproben nach Lagerung in den unterschiedlich zusammengesetzten Speichelersatzlösungen untersucht. Der pH-Wert hatte einen signifikanten Einfluss auf ΔMin ($p = 0,038$; ALM), jedoch nicht auf ΔLt ($p = 0,086$). Kalzium hatte lediglich einen signifikanten Einfluss auf den Mineralverlust (ΔMin) ($p = 0,024$; ALM), nicht jedoch auf die Läsionstiefe (ΔLt) ($p = 0,739$). Die Faktoren Phosphat und Fluorid zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die beiden abhängigen Variablen ($p > 0,05$).

5.2.1 Ergebnisse zum Einfluss unterschiedlicher Kalzium- und Phosphatkonzentrationen auf den Mineralverlust

In Abbildung 11 ist der Einfluss der Faktoren Kalzium und Phosphat in den unterschiedlichen Konzentrationen auf den Mineralverlust der demineralisierten und anschließend in den jeweiligen Lösungen gelagerten Schmelzproben mittels box-and-whisker-plots dargestellt. Die Gruppen, die unterschiedliche Buchstaben tragen, unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$; BONFERRONI).

Es ist zu erkennen, dass der effektive Mineralverlust bei den Gruppen, die eine 1 und 2 mM Kalziumlösung enthielten, signifikant höher lag, verglichen zu den Gruppen, denen keine oder eine 0,5 mM Kalziumlösung hinzugefügt wurde ($p < 0,05$; ANOVA, BONFERRONI). Der durchschnittliche Mineralverlust lag höher als in der Kontrollgruppe und der Gruppe der Kalziumkonzentration von 2 mM.

Bezüglich Phosphat wird deutlich, dass die Gruppen mit einer Phosphatkonzentration von 0 und 0,8 mM die geringste Remineralisation aufwiesen. Den stärksten durchschnittlichen remineralisierenden Effekt erzielte die Gruppe der Phosphatkonzentration von 12,8 mM. Bei erhöhten Phosphatkonzentrationen (6,4 und 12,8 mM) konnten signifikant erhöhte Werte für den effektiven Mineralverlust

(Δ Min) ermittelt werden im Vergleich zu den Kontrollgruppen, die kein Phosphat, 0,8 mM bzw. 3,2 mM Phosphat enthielten ($p < 0,05$).

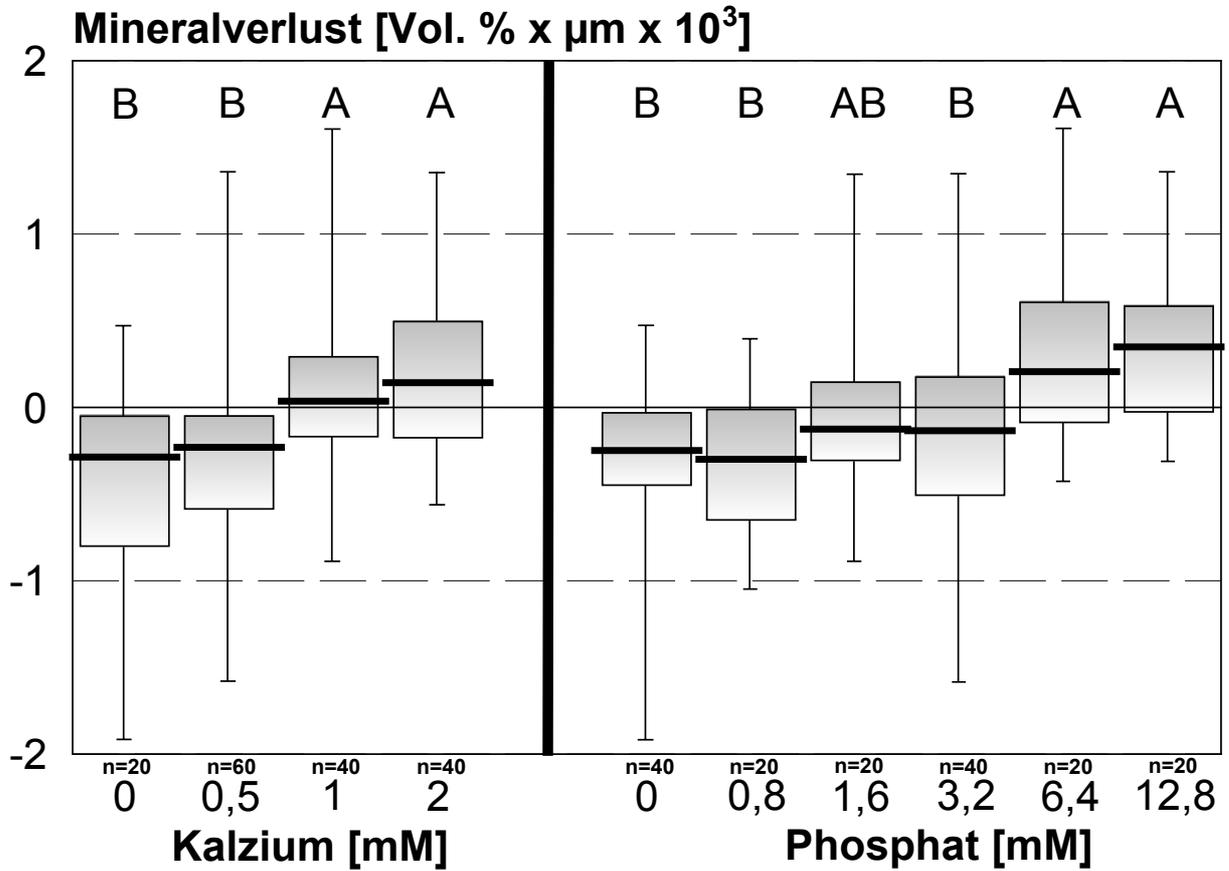


Abb. 11: Die Ergebnisse des Mineralverlustes in Bezug auf die Einflussfaktoren Kalzium und Phosphat nach Lagerung der demineralisierten Schmelzproben in den verschiedenen Lösungen sind mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen dargestellt (100 % box-and-whisker-plots). Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; BONFERRONI).

5.2.2 Ergebnisse zum Einfluss unterschiedlicher Kalzium- und Phosphatkonzentrationen auf die Läsionstiefe

Sowohl Kalzium ($p = 0,902$; ALM) als auch Phosphat ($p = 0,356$; ALM) zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Änderung der Läsionstiefe. Es bestanden keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Kalzium, Phosphat und pH ($p > 0,05$; ALM). In Abbildung 12 ist der Einfluss der Faktoren Kalzium und Phosphat in den unterschiedlichen Konzentrationen auf die Läsionstiefe der demineralisierten und anschließend in den jeweiligen Lösungen gelagerten Schmelzproben mittels box-and-whisker-plots dargestellt. Alle Gruppen unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; BONFERRONI).

Bei den unterschiedlichen Phosphatkonzentrationen zeigte die Gruppe der Konzentration in Höhe von 6,4 mM zwar eine leichte remineralisierende Wirkung, jedoch unterschieden sich die Wirkungen der unterschiedlichen Gruppen nicht signifikant voneinander.

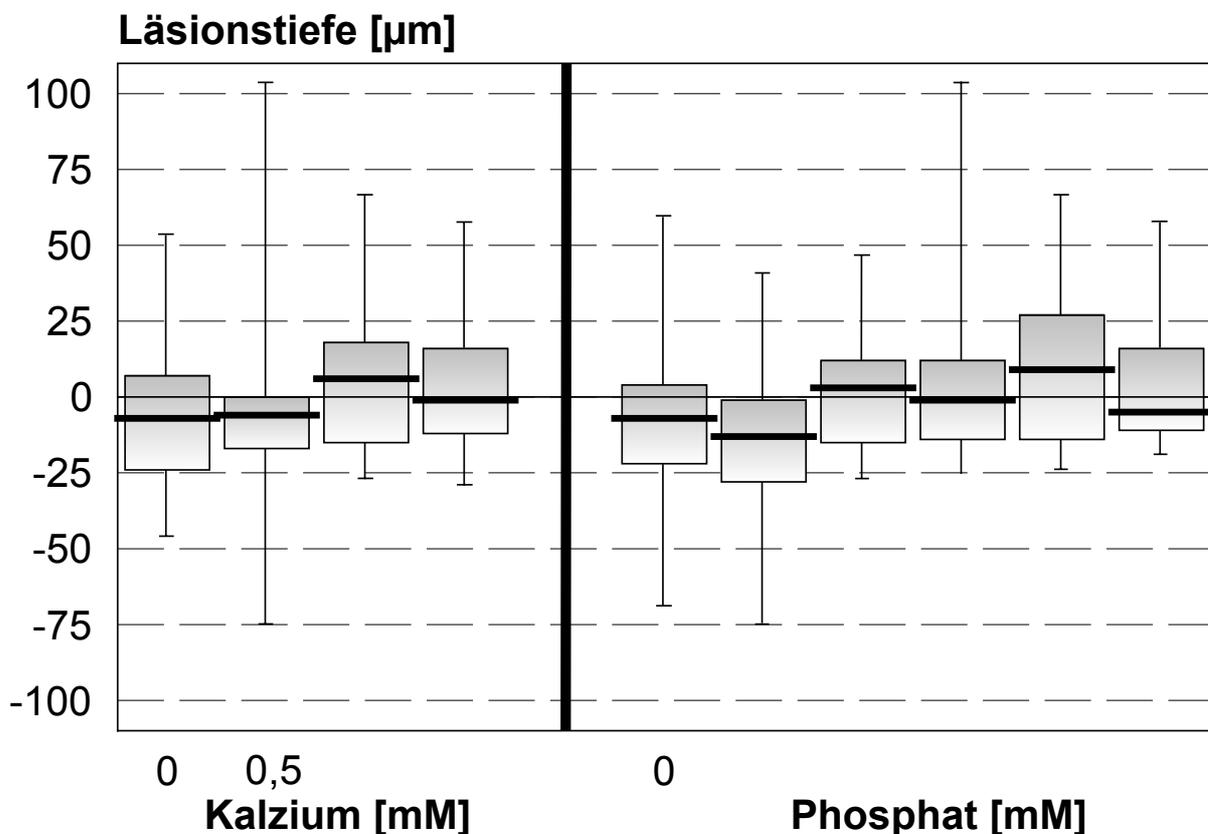


Abb. 12: Die Ergebnisse der Läsionstiefe (μm) in Bezug auf die Einflussfaktoren Kalzium und Phosphat nach Lagerung der demineralisierten Schmelzproben in den verschiedenen Lösungen sind mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen dargestellt (box-and-whisker-plots).

5.2.3 Ergebnisse zum Einfluss unterschiedlicher Fluoridkonzentrationen und der pH-Werte auf den Mineralverlust

Der pH hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Änderung des Mineralverlustes ($p = 0,114$; ALM). Die Änderungen des Mineralverlustes (ΔMin) in Abhängigkeit von der Fluoridkonzentration sowie des pH werden in Abbildung 11 mittels box-and-whisker-plots gezeigt. Die zwei unterschiedlich verwendeten Fluoridkonzentrationen (0 und 2 mM) unterschieden sich in ihrer Wirkung bezüglich des Mineralverlustes hoch signifikant voneinander ($p = 0,001$; t-Test).

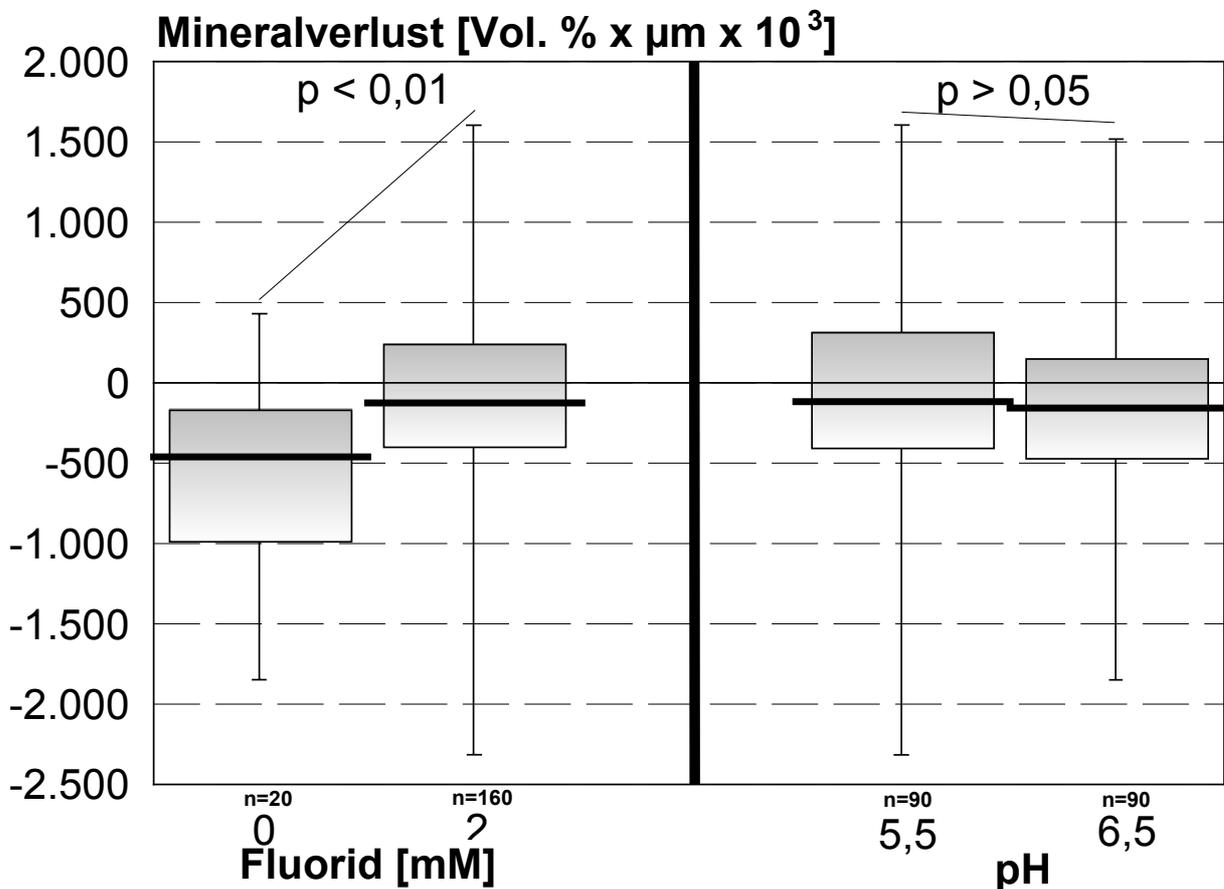
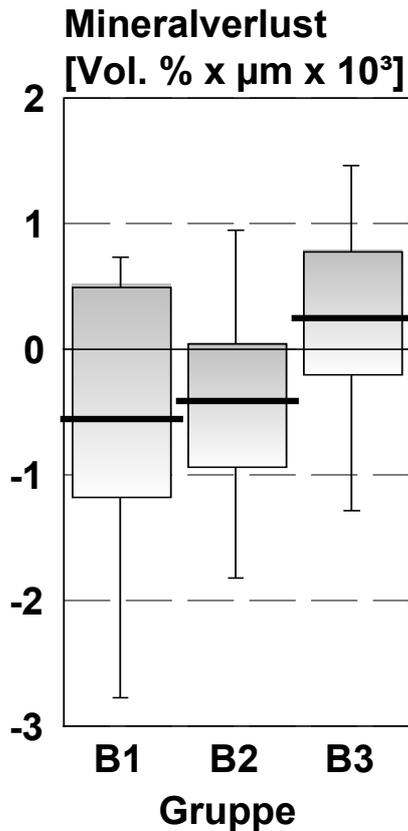


Abb. 13: Die Ergebnisse des Mineralverlustes in Bezug auf die Einflussfaktoren Fluorid und pH nach Lagerung der demineralisierten Schmelzproben in den verschiedenen Lösungen sind mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen dargestellt (100 % box-and-whisker-plots).

5.3 Ergebnisse des Zusatzversuches



Im Zusatzversuch unterschieden sich die Gruppen B1, B2 und B3 in der Veränderung des Mineralverlustes und der Läsionstiefe nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; ANOVA) (Tab. 9) (Abb. 14).

Im Gegensatz zum Hauptversuch konnten dabei nach Demineralisation und Lagerung keine signifikanten Veränderungen der Mineralverluste oder der Läsionstiefen festgestellt werden ($p > 0,05$; t-Test).

Abb. 14: Mineralverluständerungen der Gruppen des Zusatzversuches.

5.4 Ergebnisse der Kalziumkonzentrationsmessungen

Die zugegebenen und gemessenen Kalziumkonzentrationen zeigten eine annähernd lineare Abhängigkeit voneinander (0,99; Pearson Korrelation). Allerdings konnten nur 20-34 % der tatsächlich hinzugefügten Kalziummenge gemessen werden (Abb. 15). Daher lagen die Werte der Neuberechneten Sättigungsgrade unterhalb der theoretisch ermittelten Werte (Tab. 9).

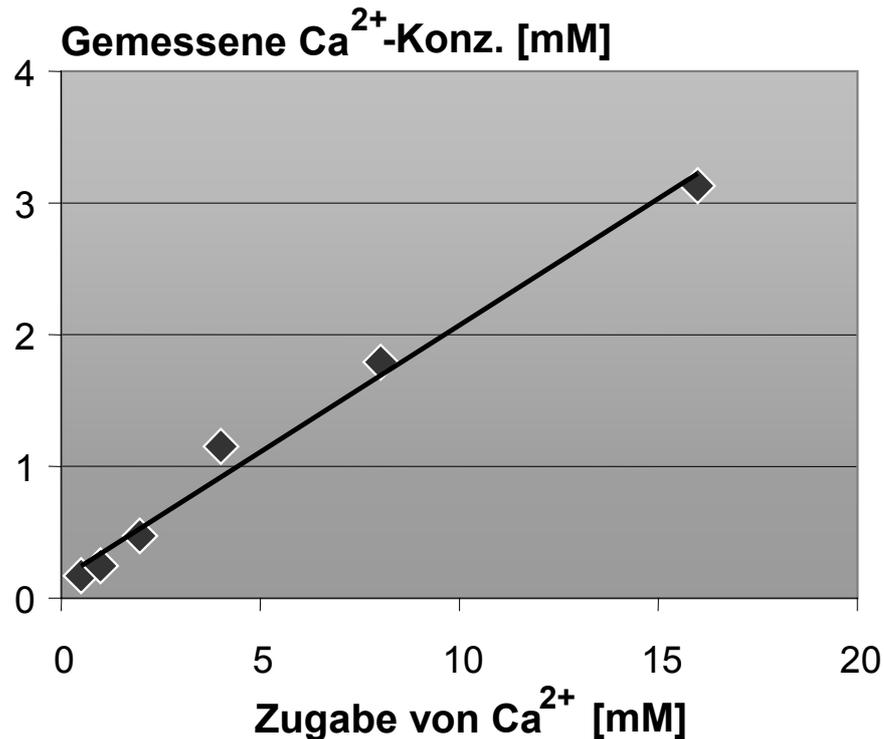


Abb. 15: Die Darstellung der zugegebenen und gemessenen Kalziumkonzentrationen zeigt einen annähernd linearen Zusammenhang.

5.5 Qualitative Auswertung

- Mikroradiografische Auswertung des Mineralverlustes

Nach der Demineralisation der Proben und ihrer Lagerung in den verschiedenen Lösungen wurde das Ausmaß des Mineralverlustes bzw. der Läsionstiefe mit Hilfe der TMR-Software dargestellt und berechnet.

Abbildung 16 zeigt den typischen Verlauf zweier unterschiedlicher Messkurven einer Schmelzprobe. Dabei zeigt Graphik **A** das Mikroradiogramm des demineralisierten Schmelzes einer Probe und Graphik **B** die Messkurve nach der Demineralisation und anschließender 14tägiger Lagerung in der Speichelersatzlösung. In diesem Fall lagerte die beschriebene Probe in der Speichelersatzlösung der Gruppe 2.

- Messkurve **A**: Es wurde ein Mineralverlust von $2437,4 \text{ Vol.}\% \times \mu\text{m}$ und einer Läsionstiefe von $96,4 \mu\text{m}$ errechnet.
- Messkurve **B**: Nach Lagerung der demineralisierten Schmelzprobe in der Speichelersatzlösung Nr. 2 erhöhte sich der Mineralverlust deutlich auf $2698,9 \text{ Vol.}\% \times \mu\text{m}$ und auf eine Läsionstiefe von $107,6 \mu\text{m}$.

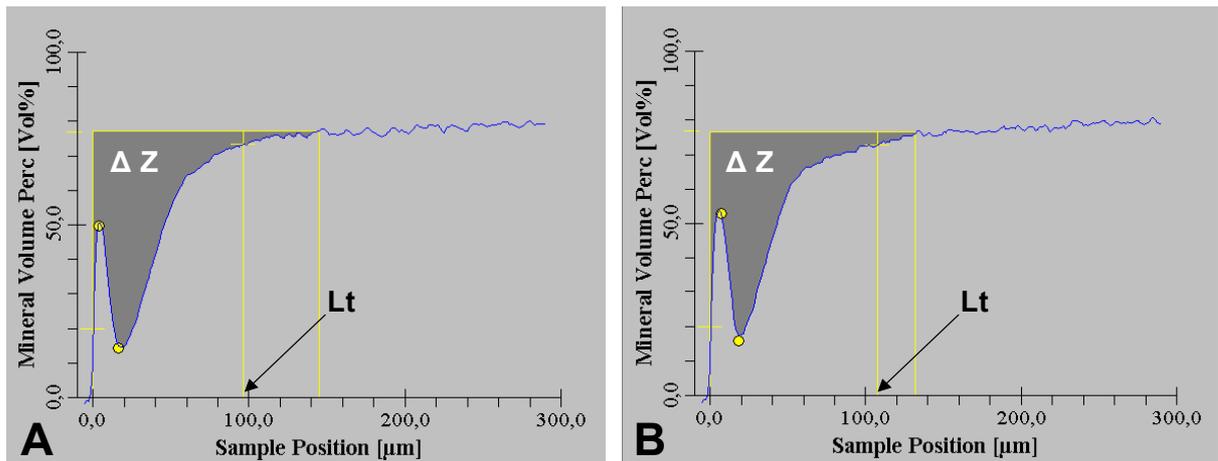


Abb. 16: Darstellung des Mineralverlustes (ΔZ) und der Läsionstiefe (Lt) mit dem TMR-Programm einer in Lösung 2 gelagerten Probe.

In Abbildung 17 sind ebenfalls zwei Messkurven eines Mikroradiogramms einer demineralisierten und anschließend in der potentiell remineralisierenden Speichersatzlösung (Nr. 18) gelagerten Schmelzprobe aufgeführt. Die Bilder A und B zeigen erneut den demineralisierten und dem der Speichersatzlösung ausgesetzten Bereich.

- Messkurve **A**: Bei der demineralisierten Probe lag ein Mineralverlust von $2232,9 \text{ Vol.\%} \times \mu\text{m}$ und eine Läsionstiefe von $95,6 \mu\text{m}$ vor.
- Messkurve **B**: Nach zweiwöchiger Lagerung der demineralisierten Probe in der Speichersatzlösung Nr. 18 ist eine deutliche Remineralisation zu verzeichnen. Der reduzierte Mineralverlust von $1769,6 \text{ Vol.\%} \times \mu\text{m}$ und eine Läsionstiefe von $80,8 \mu\text{m}$ ist erkennbar.

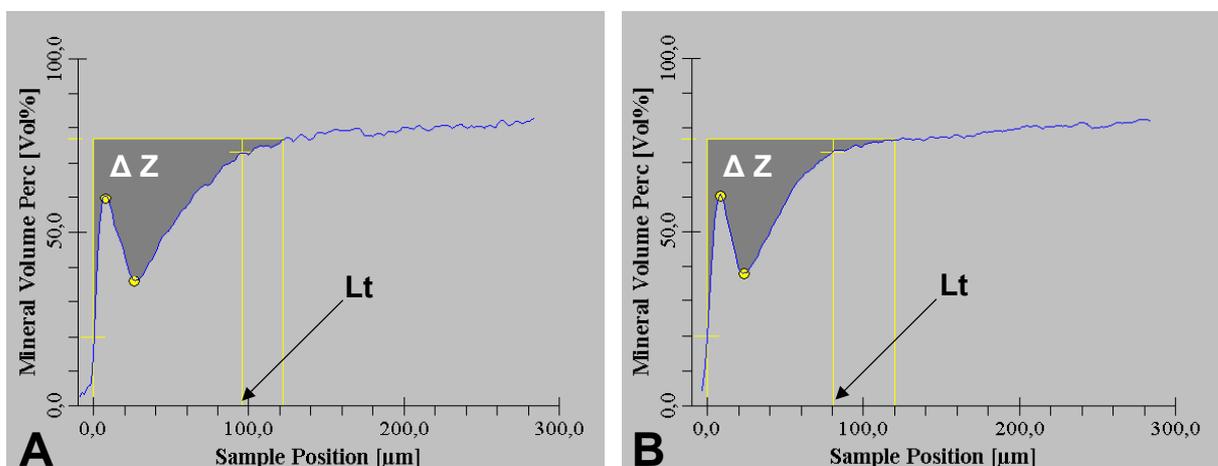


Abb. 17: Darstellung des Mineralverlustes (ΔZ) und der Läsionstiefe (Lt) mit dem TMR-Programm einer in Lösung 18 gelagerten Probe.